PERAWATAN ENGINE DAN UNIT ALAT BERAT

SEMESTER 5

Kelas

XI

Kata Pengantar

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Di dalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. Buku Siswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus **dilakukan** peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus **dilakukan** peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014

Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

DAFTAR ISI

GLOSARIUM

Idle adalah kondisi putaran engine pada kecepatan lambat

Titik Mati Atas (TMA) torak berada pada posisi puncak silinder.

Journal adalah bantalan yang terdapat pada poros engkol yang biasa disebut bantalan jalan dan bantalan duduk

Engine adalah penggerak mula pada kendaraanyang biasa disebut motor atau mesin

Side clereance adalah celah samping antara cincin torak terhadap alurnya

PCV adalah *positif crackcase ventilation* yaitu pernapasan ruang engkol untuk mencegah pengembunan pada oli pelumas yang panas.

End gap adalah celah antara ujung cincin torak setelah dimasukkan kedalam silinder

Round out adalah proses berputar tidak pada sumbu yang biasa disebut kebengkokan

BAB I
Pendahuluan

A. Deskripsi

Modul ini memberikan pengetahuan dan keterampilan dari dasar-dasar diesel engine. Penjelasan dari modul ini memudahkan para siswa untuk mampu mengidentifikasi dan menjelaskan tujuan dan fungsi dari komponen mesin diesel, menjelaskan prinsip dasar pengoperasian dari suatu mesin diesel, mengidentifikasi dan menjelaskan fungsi utama dari komponen di sistem pemasukkan udara dan pengeluaran gas buang, sistem pendingin dan sistem bahan bakar pada engine diesel.

B. Prasyarat

Module berikut ini merupakan prasyarat yang harus diikuti sebelum pelaksanaan dari modul ini:

1 Occupational Health & Safety
2 Perlengkapan tempat kerja
3 Prinsip mekanikal

C. Petunjuk Penggunaan Modul

Pada Pembelajaran Klasikal, Guru akan:

1 Menyediakan modul yang dapat digunakan siswa pelatihan sebagai sumber pelatihan;
2 Menyediakan lembaran aktivitas kepada setiap siswa;
3 Menggunakan modul sebagai sumber utama dalam penyelenggaraan pembelajaran;
4 Memastikan setiap siswa memberikan jawaban/tanggapan pada lembar kegiatan (LK) yang ada pada materi dan benar 100%;
5 Melaporkan hasil jawaban dan tanggapan aktivitas kepada guru;
6 Setelah materi teori selesai baru melaksanakan praktik;
7 Menuliskan hasil tugas praktiknya; dan
8 Menyelesaikan penilaian praktik (Uji Kompetensi)

Pada Pembelajarn Individual/Mandiri, Siswa akan:

1 Menggunakan buku ini sebagai sumber utama pelatihan;
2 Menyelesaikan setiap kegiatan lembar kegiatan (LK) yang ada pada bukul;
3 Memberikan jawaban pada lembar kegiatan (LK) dan benar 100%, baru melanjutkan ke materi berikutnya;
4 Mengisi hasil tugas praktik;
5 Melaporkan hasil materi teori dan materi praktik
6 Mengikuti penilaian yang diberikan.

D. Tujuan Akhir

Setelah menyelesaikan materi belajar yang ada pada buku ini siswa dapat; Menjelaskan proses perawatan sistem *engine, turbocharger,* sistem bahan bakar disel, pemeriksaan grup kepala silinder, dan grup blok silinder.

BAB II
Pembelajaran

A. Deskripsi

Kompetensi ini meliputi pengetahuan, keterampilan dan sikap pada pekerjaan servis, dan perawatan komponen *engine diesel* alat berat dengan benar sesuai standar operasional prosedur.

B. Kegiatan Belajar

1. Kegiatan Belajar 1. *Turbocharger*

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah selesai mempelajari materi kegiatan belajar 1 ini siswa dapat:

1). Menjelaskan fungsi *turbocharger*
2). Menerangkan cara kerja *turbocharger*
3). Perawatan *turbocharger* dilakukan dengan benar sesuai manual

b. Uraian Materi

Engine disel banyak digunakan pada kendaraan-kendaraan besar yang membutuhkan tenaga yang besar. Sebelum melanjutkan uraian materi ini sebaiknya anda lihat gambar berikut dan coba isi kolom yang telah disediakan mengenai apa aja yang anda pikirkan mengenai gambar tersebut.

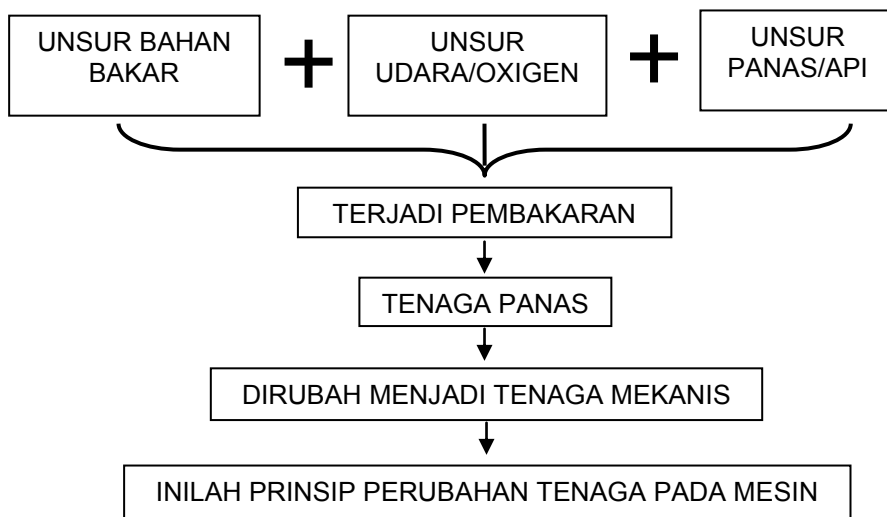
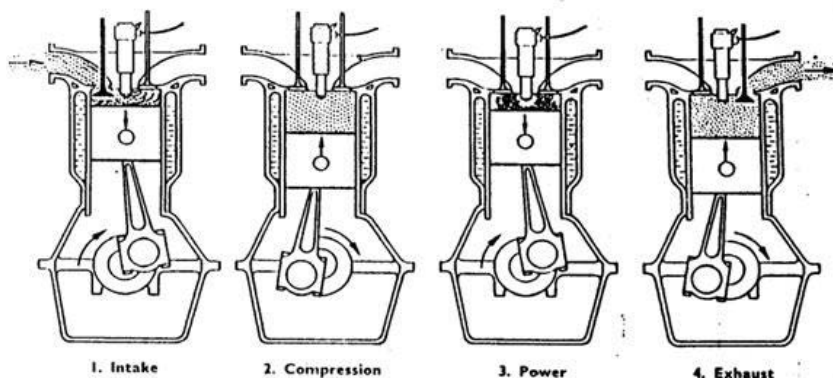
Gambar 1.1. Kenderaan yang sering digunakan di proyek

Perhatikan gambar 2.1. diatas, dan coba pikirkan dan isilah kolom berikut: ▪ Sebutan apa (nama) yang dikatakan masyarakat akan mobil diatas. ______________________________ ▪ Ada berapa kira-kira jumlah bannya. ______________________________ ▪ Bahan bakar apa yang digunakan.? ______________________________

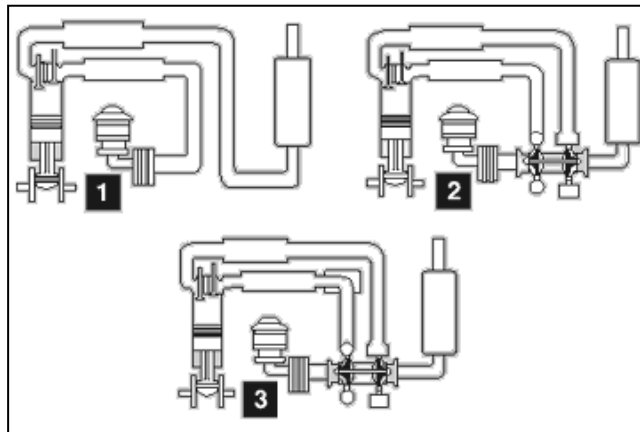
Gambar 1.2. Mobil sedan

Perhatikan gambar 1.2. diatas, dan coba pikirkan dan isilah kolom berikut:

- Bahan bakar apa yang digunakan gambar 1.2. diatas ?
- Ada berapa ban mobil gambar 1.2. diatas ?

Kendaraan-kendaraan di atas adalah jenis kendaraan yang mesinnya berbahan bakar solar dan berbahan bakar bensin yang biasa disebut mesin disel dan mesin bensin.
Mesin disel digunakan untuk penggerak alat berat yang memelukan tenaga yang besar dan proses pembakarannya adalah dengan menggunakan panas udara yang dikompresikan di dalam silinder.
Agar terjadi proses pembakaran harus memiliki syarat menyediakan tiga unsur sebagai berikt:

Kolom diatas menggambarkan mengapa terjadi suatu tenaga pada suatu mesin kendaraan, dimana ke-tiga unsur tersebut sangat penting dan setiap unsur itu akan dibahas pada buku ini.
Pada mesin disel pembakaran solar terjadi adalah karena adanya panas yang sangat tinggi dan mampu membakar solar didalam mesin kendaraan, sementara mesin bensin seperti mesin yang digunakan pada kendaraan gambar 1.2. tersedia busi yang mengeluarkan api listrik bertegangan tinggi yang akan membakar bensin pada proses langkah usaha akhir kompresi.

Gambar 1.3. Siklus kerja mesin disel

Karena pada mesin disel pembakaran bahan bakar adalah akibat pengkompresian udara di dalam ruang tertutup yang disebut silinder mesin, hal ini dapat anda bayangkan pompa sepeda apabila anda pompakan dan ujung pompa anda tutup dengan jari tangan anda maka akan terjadi panas karena pemompaan udara yang ada di dalam pompa tersebut.
Jumlah udara yang masuk ke dalam silinder mesin sangat menentukan temperatur panas yang dihasilkan pada saat terjadi pengkompresian di dalam silinder mesin.
Proses pembakaran pada mesin disel akan sangat tergantung pada panas yang terjadi akibat udara yang masuk ke dalam silinder kemudian dikompresikan pada ruang tertutup karena katup masuk maupun katup sama-sama tertutup perhatikan gambar 1.3. gambar kedua.
Pada mesin disel kompensional atau mesin-mesin disel kecil udara masuk ke dalam silinder adalah akibat isapan *piston* seperti gambar 1.3 gambar pertama, dan dengan cara ini udara yang masuk ke dalam silinder tidak sepenuhnya dapat mengisi silinder mesin (hanya terisi ± 80%), sehingga panas yang ditimbulakn juga tidak akan meaksimum.
Untuk mesin-mesin disel besar dan disel modern yang membutuhkan tenaga besar didesainlah mesin disel dengan tambahan komponen yang disebut *turbo charger.*

Kerja *engine diesel* yang effisien memerlukan jumlah udara yang tepat pada ruang pembakaran dan gas buang dapat keluar dengan hambatan yang minimal. Suhu udara masuk dan gas buang yang keluar juga merupakan hal yang penting pada performa dan usia pakai *engine*.

Gambar 1.4.Jenis Sistem Pemasukan Udara

Sistem pemasukan udara *engine* terbagi menjadi beberapa jenis yaitu:

1. *Natural aspirated*
2. *Turbocharger*

Engine yang menggunakan *turbocharger* terbagi menjadi dua jenis yaitu:

1. *Turbocharger*
2. *Turbocharger aftercooler*

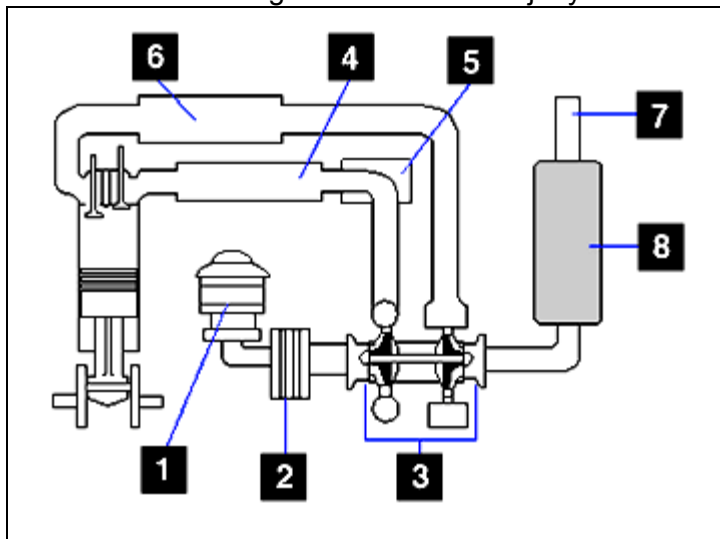
Aftercooler yang dipergunakan *turbocharger engine* terdiri dari:

1. *Air to air aftercooler*
2. *Jacket water aftercooler*
3. *Separate circuit aftercooler*

Natural aspirated merupakan sistem pemasukan udara kedalam ruang bakar secara alamiah. Hisapan *piston* saat langkah *intake* mengakibatkan udara luar mengalir melewati *precleaner, air cleaner, intake manifold* karena terjadi kevakuman diruang bakar.

Apabila terjadi hambatan pada *air cleaner* dan *sistem intake*, kerapatan udara yang dihisap menjadi sangat rendah dibanding kerapatan udara atmosfer. Karena jumlah udara terbatas maka bahan bakar yang diinjeksikan juga terbatas sehingga tenaga yang dihasilkan juga terbatas.

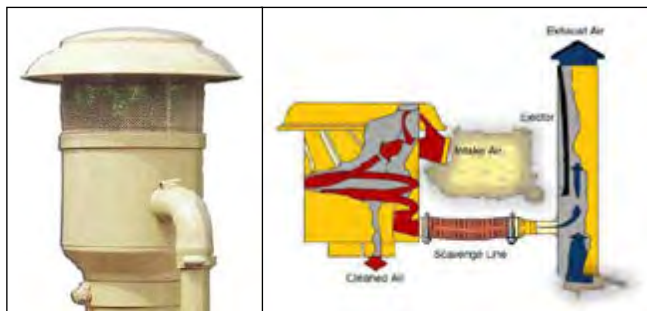
Komponen-Komponen Sistem Pemasukan Udara.

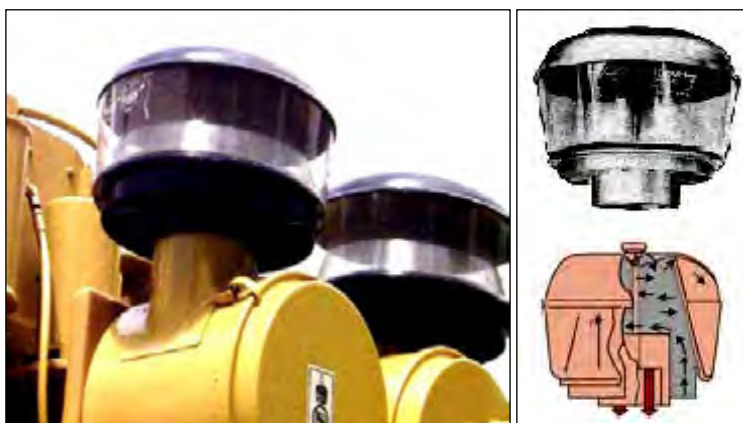
Untuk melakukan pekerjaan dan perbaikan pada sistem udara pada *engine*, maka penting untuk memahami aliran udara melalui sistem dan fungsi tiap komponen. Juga penting untuk memahami bentuk komponen tersebut dan bagaimana cara bekerjanya.

Gambar 1.5. Komponen dasar *Air Induction Sistem*

Keterangan gambar:
Sistem pemasukan udara dan pembuangan gas buang yang umum yaitu:

1. *Precleaner;*
2. *Air filter;*
3. *Turbocharger;*
4. *Intake manifold;*
5. *Aftercooler;*
6. *Exhaust manifold;*
7. *Exhaust stack;*
8. *Muffler;* dan *Connecting pipes*.

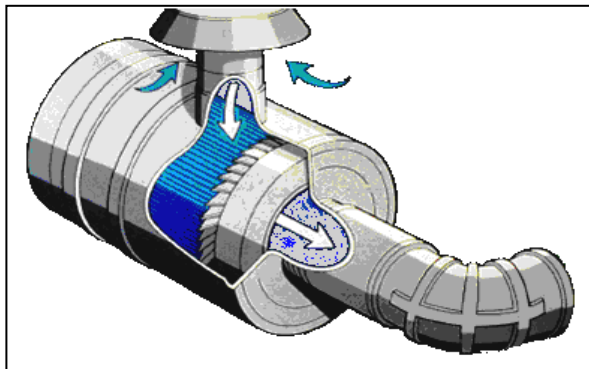
Precleaner

Pada beberapa *engine* juga dilengkapi dengan *precleaner*. *Precleaner* terletak pada lokasi sebelum udara memasuki *air cleaner*. Tujuan penggunaan *precleaner* adalah untuk menyaring partikel debu atau kotoran yang lebih besar sebelum memasuki *air cleaner*. Hal ini akan meningkatkan usia pakai *air cleaner*.

Gambar 1.6. *Cyclone Tube Exhaust Dust Ejected Pre- cleaner*

Jenis *precleaner* yang paling sederhana adalah *Cyclone Tube Exhaust Dust Ejected Pre- cleaner* pada bagian atas sisi masuk *air filter housing*.

Gambar 1.7. *Spirally Vaned Drum*

Precleaner jenis lain yang digunakan pada *engine* alat berat adalah *spirally vaned drum*. *Vane* (sudu) menyebabkan udara masuk berputar. Mengingat debu pada udara yang akan masuk lebih berat dari udara, debu akan terpental ke luar karena pergerakkan puntiran/putaran. Kemudian debu akan jatuh dan terkumpul pada mangkuk pengumpul debu di bagian bawah. *Precleaner* harus diperiksa dan dikosongkan secara berkala.

***Air Cleaner* (Saringan Udara)**

Udara memasuki *engine* melalui *air cleaner*. Pada *air cleaner* terdapat elemen penyaring yang akan memisahkan material debu pada udara sebelum memasuki *engine*. Terdapat beberapa jenis *air cleaner* yang saat ini tersedia untuk *engine*, namun semua bertujuan agar udara yang masuk ke dalam ruang bakar bersih dan dapat terkontrol dengan baik.

Gambar 1.8. *Air Cleaner*

Air cleaner engine harus dirawat secara berkala. Pada beberapa *air cleaner* dilengkapi dengan *service indicator* (penunjuk perawatan). Indikator ini memantau besarnya hambatan melalui *air cleaner* sehingga bisa diketahui apabila *filter* tersumbat.

Service indicator merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan kapan *air cleaner* harus dibersihkan. *Air cleaner* harus dibersihkan atau diganti apabila diafragma warna kuning memasuki area merah atau *piston* warna merah terlihat.
Saringan udara secara umum terdapat dua jenis yaitu:

- Tipe kering *(dry element)*
- Tipe basah *(wet element)*

Gambar 1.9. *Service Indicator*

Dry element air cleaner (pembersih udara yang kering) merupakan jenis *air cleaner* yang umum digunakan pada *engine*. *Cleaner* jenis ini dibuat dari lipatan kertas yang digunakan untuk menyaring debu pada udara yang akan masuk ke *engine*.

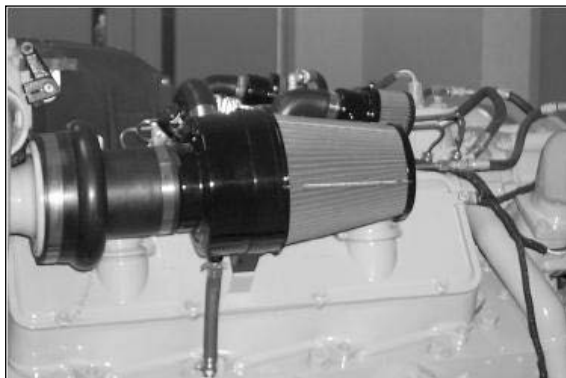
Air filter jenis ini memerlukan penggantian atau pembersihan apabila *service indicator*-nya telah menunjukkan warna merah.
Saringan tipe basah diberikan oli ringan disekeliling elemen penyaring pada rumah saringan, sehingga sebelum udara masuk kesaringan terlebih dahulu melewati oli sehingga debu akan terikat pada oli tersebut.

Gambar 1.10.*Dry Element Air Cleaner*

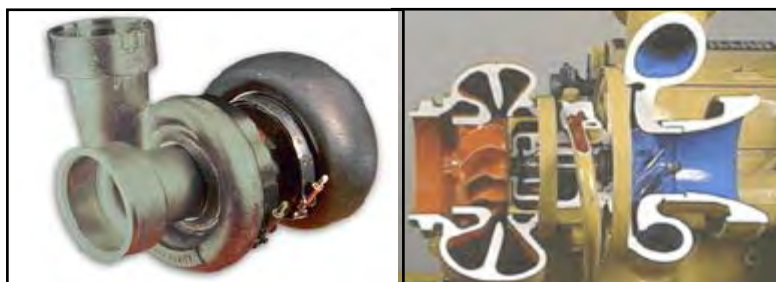
Dry element air cleaner biasanya dibersihkan dengan menggunakan udara kering yang tersaring dengan tekanan maksimum 270 kPa (30 psi). Elemen harus dibersihkan/disemprot dari arah dalam ke luar, dan cara memegang penyemprot sejajar dengan lipatan kertas *air cleaner*.

Gambar 1.11. Membersihkan *Dry Element*

Jenis lain *air cleaner* yang digunakan pada *engine Caterpillar*, terutama untuk aplikasi *marine* (kapal laut) performa tinggi, adalah AIRSEP®. *Air cleaner* jenis ini terbuat dari lipatan fiber penyaring yang dilapisi dengan fluida khusus. Ini memungkinkan elemen AIRSEP mengalirkan udara dalam volume yang banyak dengan hambatan yang kecil, tetapi masih dapat membersihkan udara sebelum memasuki *engine*. Elemen-elemen ini dapat dipakai ulang, namun memerlukan prosedur perawatan khusus. *Filter* AIRSEP harus dibersihkan menggunakan *Cleaning Kit* 102-9720. Ikuti petunjuk pada

Buku Panduan Pengoperasian dan Perawatan (*Operation Maintenance Manual*).

Gambar 1.12. AIRSEP® Filter

Turbocharger

Beberapa *engine diesel* dilengkapi dengan *turbocharger* untuk meningkatkan performa dan effisiensi *engine*. *Turbocharger* menerima aliran udara yang telah dibersihkan oleh *air cleaner*. Putaran *compressor* pada *turbocharger* mengisap udara untuk masuk, dan menekan dan mengalirkannya menuju dan masuk ke dalam *cylinder*.

Gambar 1.13. *Turbocharger*

Advantages of Turbochargers

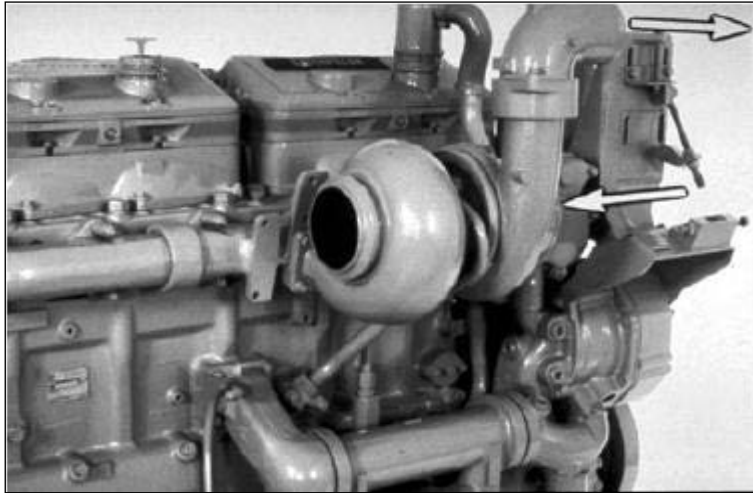
- **Power**
- **Efficiency**

Keuntungan Menggunakan *Turbocharger*

Keuntungan menggunakan *Turbocharger* antara lain:

1. **Tenaga**. Udara bertekanan memiliki lebih banyak oksigen per satuan volume. Dengan lebih banyak oksigen pada *cylinder* maka lebih banyak juga bahan bakar yang dapat

disemprotkan untuk dapat menghasilkan tenaga yang lebih besar.

2. **Effisiensi**. Proses penekanan dengan jumlah udara yang lebih mencukupi menghasilkan effisiensi pembakaran lebih tinggi sehingga akan menurunkan emisi dan konsumsi bahan bakar yang lebih bagus.

Gambar 1.14. Cara Kerja *Turbo Charger*

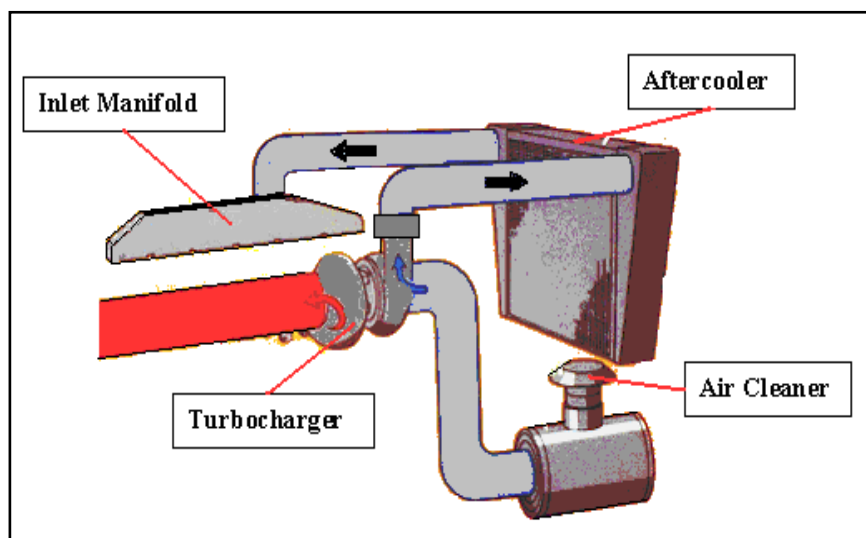
Pada saat *turbocharger* menekan udara (menaikkan tekanan udara pada *intake*), suhu udara akan naik. Bila suhu udara naik, maka *density* (kerapatan udara) akan menurun sehingga jumlah oksigennya tidak maksimal. Bila udara bertekanan ini dialirkan menuju *engine*, maka effisiensi yang dihasilkan oleh udara bertekanan akan hilang. Hal inilah yang menyebabkan mengapa *aftercooler* diperlukan. *Aftercooler* akan menurunkan suhu udara sebelum memasuki *cylinder*.

Aftercooler
• *Air To Air Aftercooler* • *Jacket Water Aftercooler* • *Separate Circuit Aftercooler*

Aftercooler

Aftercooler digunakan bersama dengan *turbocharger* untuk menurunkan suhu udara yang akan memasuki ruang bakar. Ini menyebabkan kerapatan udara menjadi meningkat, sehingga jumlah udara menjadi lebih banyak dan effisiensi dan tenaga yang dihasilkan *engine* meningkat.

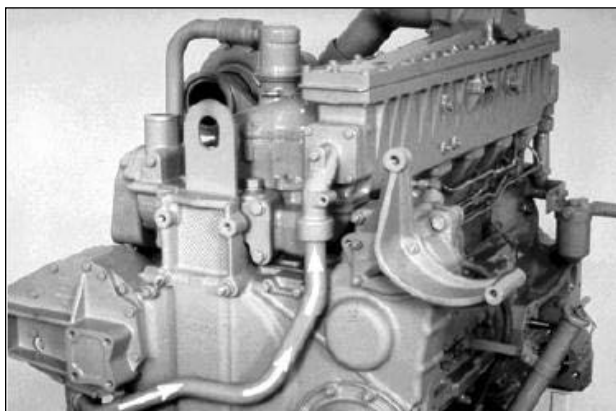
Terdapat tiga jenis *aftercooler* yang digunakan *engine Caterpillar*. Semua jenis *aftercooler* berfungsi sama. *Aftercooler* akan menyerap panas dari udara sehingga udara menjadi lebih dingin dan kerapatan udaranya menjadi meningkat.

Air To Air Aftercooler (ATAAC)

Gambar 1.15. *Air To Air Aftercooler (ATAAC)*

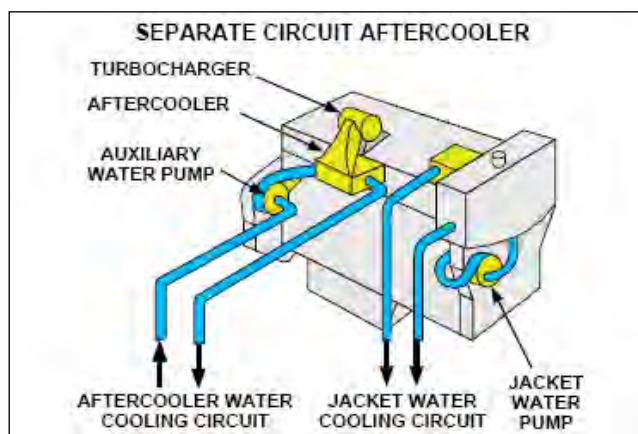
Dengan menggunakan *aftercooler* jenis ini, inti pendingin (*cooler core*) yang terpisah dipasang di bagian depan radiator *engine*. Udara dengan suhu luar yang dihembuskan oleh *fan engine* akan mengalir melintasi *aftercooler core*. Udara bertekanan dari *turbocharger* didinginkan oleh *air to air aftercooler* sebelum memasuki *intake manifold*. Ini merupakan metode yang sangat effektif untuk mendinginkan udara bertekanan apabila terdapat udara yang dingin dalam jumlah besar yang dapat melewati *aftercooler*. Karena alasan inilah mengapa sistem ini banyak digunakan pada kendaraan berkecepatan tinggi (*on-highway truck*).

Jacket Water Aftercooler (JWAC)

Sistem *jacket water aftercooler* memiliki *core assembly* yang berisi *coolant*. *Coolant* yang digunakan adalah *coolant* yang sama yang digunakan untuk mendinginkan *engine*. *Coolant* ini digunakan untuk mendinginkan udara yang akan memasuki ruang bakar. *Coolant* dari

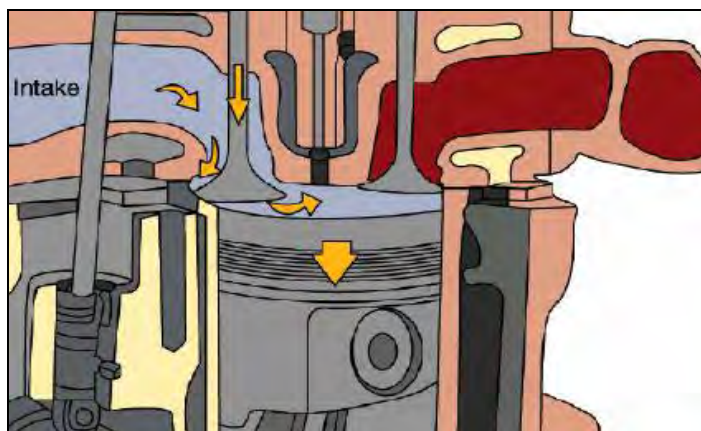
water pump mengalir melalui *aftercooler core*. Udara bertekanan dari *turbocharger* didinginkan oleh *aftercooler* ini sebelum memasuki *intake manifold*.

Gambar 1.16. *Jacket Water Aftercooler (JWAC)*

Separate Circuit Aftercooler (SCAC)

Sistem *aftercooler* rangkaian terpisah (*separate circuit aftercooler*) mirip dengan sistem pendingin udara terpisah dari sistem pendingin yang digunakan untuk mendinginkan *engine (jacket water)*. *Jacket water* bekerja untuk mendinginkan *engine head*, *engine block*, oli transmissi dan lain-lain. Sistem *separate circuit aftercooler* memiliki pompa, saluran air dan pemindah panas tersendiri. Sistem ini umumnya digunakan pada aplikasi dimana proses pendinginan udara yang maksimum diperlukan. Beberapa aplikasi *marine* menggunakan sistem ini dengan pemindah panas (*heat exchanger*) yang dirancang untuk menggunakan air laut untuk sirkuit pendingin. Pada *truck* besar yang digunakan pada pertambangan juga menggunakan *aftercooler* jenis ini.

Gambar 1.17. *Separate Circuit Aftercooler (SCAC)*

Inlet Manifold

Dari *air cleaner* (atau *turbocharger/aftercooler* bila dilengkapi), udara memasuki *inlet manifold* yang kemudian meneruskan udara menuju *cylinder head*.

Langkah Isap

Gambar 1.18. Langkah Isap

Udara mengisi saluran masuk pada *cylinder head*. Saat langkah isap, ketika *piston* bergerak menuju titik mati bawah, *intake valve* membuka sehingga udara mengisi ruang pada *cylinder*.

Tabel 1. Temperatur udara di manifol

Air Temperature in the Inlet Manifold						
Type of Aspiration	Normal		Maximum		*	*
	°C	°F	°C	°F	°C	°F
Natural	29	85	43	110		
Turbocharged	149	300	163	325		
Turbocharged (JWAC)	107	225	118	245	20	35
Turbocharged (SCAC) 54°C (130°F) water	60	140	65	150	11	20
Turbocharged (SCAC) 32 °C (90 °F) water	46	115	54	130	22	40
Turbocharged (SCAC)	43	110	54	125	22	40
Turbocharged Air-to-Air Aftercooling			65	150		

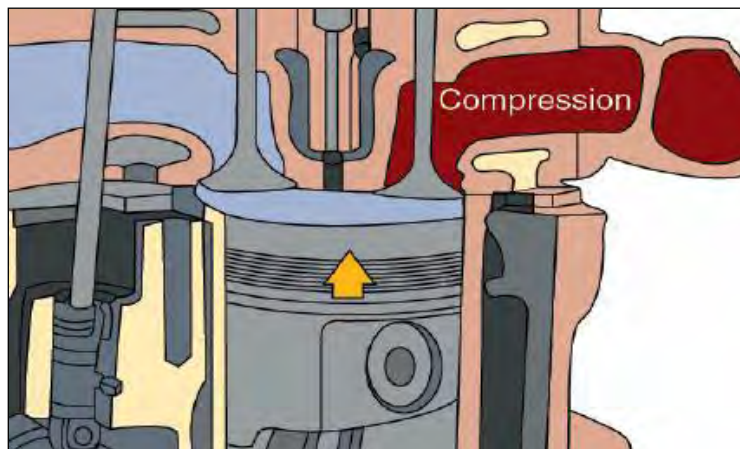
** Maximum difference between the inlet manifold air temperature and the after cooler supply water temperature.

Tabel diatas menunjukkan temperatur udara pada *inlet manifold* pada berbagai macam jenis *aftercooler*. Terlihat bahwa pendinginan yang paling baik terjadi pada *separate circuit aftercooler*.

Penggunaan *aftercooler* memberikan keuntungan yang terdiri dari:

1. Meningkatkan effisiensi bahan bakar sebesar 7% pada beberapa rating engine.
2. Meningkatkan kemampuan engine
3. Mengurangi kadar *Nox* dan partikel pada gas buang

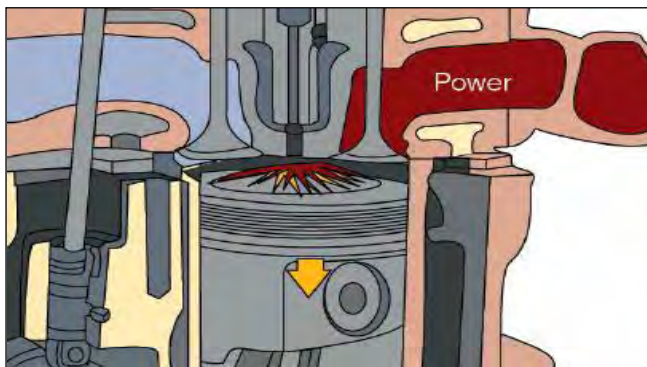
Pada saat *piston* bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah, dalam keadaan katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Kondisi ini akan ada pengembangan volume yang menyebabkan terjadinya kevacuman di dalam silinder sehingga akan menyebabkan udara terisap masuk ke dalam silinder.
Kualitas dan jumlah udara yang masuk ke dalam silinder sangat menetukan produk panas pengkompresian dan perbandingan udara dengan bahan bakar, yang secara otomatis akan mempengaruhi kualitas hasil proses pembakaran.
Untuk mesin disel yang menggunakan *turbocharger* maka pemasukan udara ke dalam silinder tidak hanya mengadalkan isapan torak tapi juga karena dorongan *torbocharger*, sehingga jumlah udara yang masuk yang disebut efisiensi volumetrik akan dapat dicapai maksimal sesuai spesifikasi pabrik.

Langkah Kompressi

Gambar 1. 19. Langkah Kompressi

Pada langkah kompresi, saat *piston* bergerak naik, *intake valve* menutup. Udara yang terjebak dalam *cylinder* ditekan. Karena tekanan udara naik maka suhu udara juga akan naik mencapai titik dimana suhu udara akan membakar bahan bakar pada saat bahan bakar disemprotkan kedalam *cylinder*.

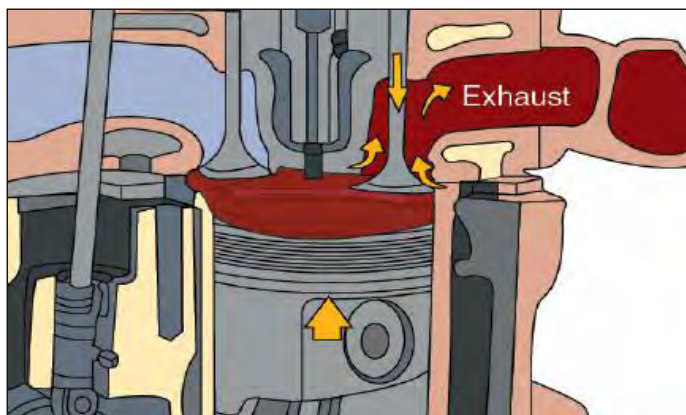
Langkah Tenaga

Beberapa derajat sebelum *piston* mencapai titik mati atas, bahan bakar disemprotkan kedalam *cylinder*. Bahan bakar tercampur

dengan udara panas dan pembakaran dimulai. Tenaga yang dihasilkan oleh proses pembakaran ini akan menekan *piston* turun dan menghasilkan langkah tenaga.

Gambar 1.20. Langkah Tenaga

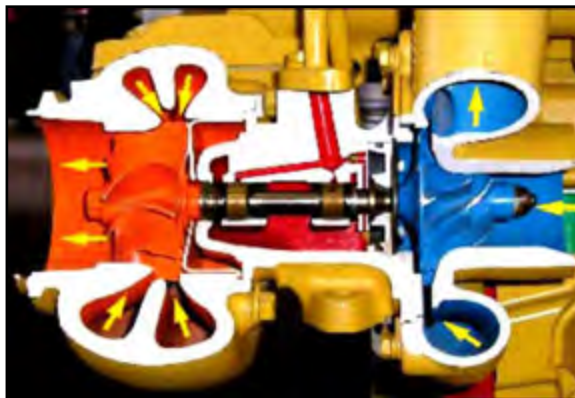
Langkah Buang

Sesaat sebelum langkah buang berakhir, *exhaust valve* membuka. Tekanan sisa dari pembakaran akan keluar dengan cepat menuju *exhaust manifold*. Pada saat *piston* bergerak menuju titik mati atas lagi atau pada langkah buang, gas hasil pembakaran didorong keluar dari *cylinder* oleh *piston*. Pada akhir langkah buang *exhaust valve* menutup dan siklus empat langkah akan dimulai lagi.

Pada akhir langkah buang beberapa derajat sesuai spesifikasi pabrik, katup masuk mulai membuka sehingga kedua katup sama-sama membuka. Hal ini disebut *overlap,* yang bertujuan untuk pembilasan sisa gas bekas yang belum keseluruhan terdorong oleh pergerakan torak.

Gambar 1.21. Langkah Buang

Exhaust Manifold

Gas buang meninggalkan *cylinder* dan memasuki *exhaust manifold* dan kemudian mengalir menuju *turbocharger* (bila dilengkapi).

Gas buang yang panas ini keluar dari *cylinder* mempunyai kecepatan aliran dan energi panas yang besar. Energi ini kemudian digunakan untuk menggerakan *turbine* pada *turbo charger* dan karena turbin terhubung satu shaft dengan *compressor* maka *compressor*-pun akan berputar sehingga udara masuk ke dalam *intake manifold*.

Gambar 1.22. Cara Kerja *Turbocharger*

Cara Kerja *Turbocharger*

Gas buang mengalir melewati sudu-sudu pada *turbine wheel* dan menyebabkan *turbine* berputar. *Turbine wheel* dihubungkan dengan *shaft* dengan *compressor wheel*. Gas buang yang mendorong *turbine* dan menyebabkan *compressor wheel* berputar pada putaran tinggi, mencapai 30.000 sampai 130.000 rpm. Hal ini menyebabkan tekanan udara yang akan masuk menuju *cylinder* menjadi naik.

Pada saat beban *engine* meningkat, bahan bakar yang disemprotkan kedalam *cylinder* menjadi lebih banyak. Pembakaran yang meningkat akan menghasilkan gas buang yang lebih banyak sehingga putaran *turbine* dan *compressor* akan semakin cepat pula. Karenanya udara juga akan semakin banyak memasuki *cylinder*. Putaran maksimum *turbocharger* diatur oleh *fuel setting*, *high idle speed setting* dan ketinggian daerah operasi *engine*.

Waste gate adalah bagian dari beberapa *turbocharger*. Apabila *boost* lebih besar dari yang dianjurkan, maka *waste gate* terbuka untuk membuang gas buang dari sekeliling *turbin* ke atmosfer.

Dengan mengurangi aliran gas buang, maka akan memperlambat putaran *turbin* dan kompresor untuk mengontrol tekanan *boost*. *Turbocharger* memberikan banyak udara untuk memperbaiki pembakaran.

Gambar 1.23. Aliran Gas Buang

Exhaust Pipe

Dari *turbocharger* (bila dilengkapi), gas buang mengalir melewati pipa *exhaust*, *muffler* dan *exhaust stack*. Sebagai tambahan pada komponen dasar anda juga perlu memahami mengenai *engine marine* dan industrial yang mungkin memakai (1) *water cooled exhaust manifold* dan (2) *water cooled turbocharger*.

Gambar 1.24. *Exhaust Stack*

c Rangkuman

Mengingat keuntungan yang bisa diperoleh dari komponen *turbocharger* maka dikembangkanlah dan selalu disempurnakan, dan tidak hanya mesin disel tetapi juga mesin bensin telah dikembangkan menggunakan *turbocharger*.

Akibat dari pergesekan udara maka udara yang masuk ke dalam ruang bakar akan mengalami kenaikan temperatur, hal ini kurang baik karena akan mempengaruhi kepadatan udara yang masuk ke dalam ruang bakar maka dikembangkan pendinginan terhadap udara yang masuk tersebut.

Sistem pemasukan udara yang masuk ke dalam ruang bakar mesin disel dikelompokkan menjadi:

1. *Natural aspirated*
2. *Turbocharger*

Turbocharger dikelompokkan menjadi:

1. *Turbocharger*
2. *Turbocharger aftercooler*

Aftercooler yang dipergunakan *turbocharger engine* terdiri dari:

1. *Air to air aftercooler*
2. *Jacket water aftercooler*
3. *Separate circuit aftercooler*

Natural aspirated merupakan sistem pemasukan udara kedalam ruang bakar secara alamiah, hanya karena hisapan *piston* saat langkah *intake* mengakibatkan udara luar mengalir melewati *precleaner, air cleaner, intake manifold* karena terjadi kevakuman diruang bakar.

Komponen-Komponen Sistem Pemasukan Udara

Untuk melakukan pekerjaan dan perbaikan pada sistem udara pada *engine*, maka penting untuk memahami aliran udara melalui sistem dan fungsi tiap komponen. Juga penting untuk memahami bentuk komponen tersebut dan bagaimana cara bekerjanya.

Precleaner

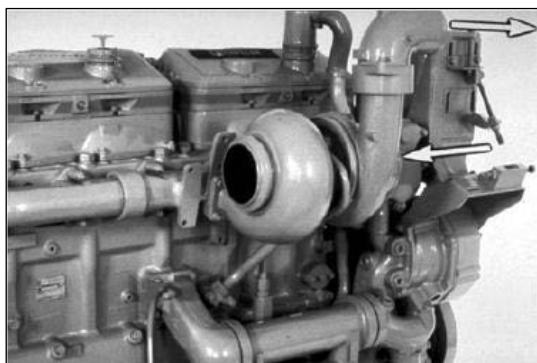
Tujuan penggunaan *precleaner* adalah untuk menyaring partikel debu atau kotoran yang lebih besar sebelum memasuki *air cleaner*.
Service indicator merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan kapan *air cleaner* harus dibersihkan.

Elemen harus dibersihkan/disemprot dari arah dalam ke luar dengan udara bertekanan maksimum 270 kPa (30 psi).

Turbocharger

Turbocharger menerima aliran udara yang telah dibersihkan oleh *air cleaner*. Putaran *compressor* pada *turbocharger* mengisap udara untuk masuk *cylinder*.

Keuntungan Menggunakan *Turbocharger*

1. **Tenaga**. Udara yang masuk akan lebih banyak maka lebih banyak juga bahan bakar yang dapat disemprotkan untuk dapat menghasilkan tenaga yang lebih besar.
2. **Effisiensi**. Menghasilkan effisiensi pembakaran lebih tinggi sehingga akan menurunkan emisi dan konsumsi bahan bakar.

Gambar 1.25. Cara Kerja *Turbo Charger*

Pada saat *turbocharger* menekan udara (menaikkan tekanan udara pada *intake*), suhu udara akan naik. Hal inilah yang menyebabkan mengapa *aftercooler* diperlukan. *Aftercooler* akan menurunkan suhu udara sebelum memasuki *cylinder*.

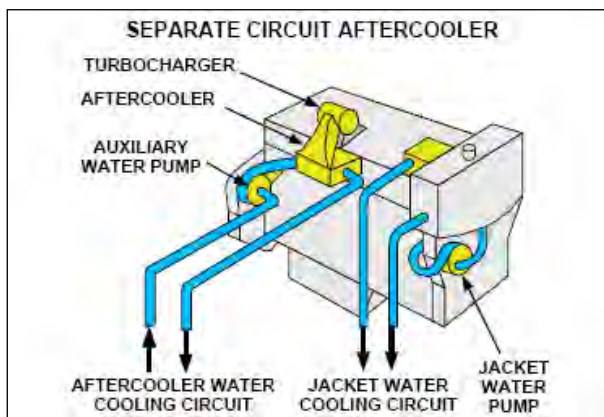
Secara umum terdapat tiga jenis *aftercooler* yang digunakan *engine*. Semua jenis *aftercooler* berfungsi sama. *Aftercooler* akan menyerap panas dari udara sehingga udara menjadi lebih dingin dan kerapatan udaranya menjadi meningkat.

Air To Air Aftercooler (ATAAC)

Jacket Water Aftercooler (JWAC)

Separate Circuit Aftercooler (SCAC)

Jacket water bekerja untuk mendinginkan *engine head*, *engine block*, oli transmissi dan lain-lain. Sistem *separate circuit aftercooler* memiliki pompa, saluran air dan pemindah panas tersendiri. Sistem ini umumnya digunakan pada aplikasi dimana proses pendinginan udara

yang maksimum diperlukan. Beberapa aplikasi *marine* menggunakan sistem ini dengan pemindah panas (*heat exchanger*) yang dirancang untuk menggunakan air laut untuk sirkuit pendingin. Pada *truck* besar yang digunakan pada pertambangan juga menggunakan *aftercooler* jenis ini.

Gambar 1.26. *Separate Circuit Aftercooler (SCAC)*

Exhaust Manifold

Gas buang meninggalkan *cylinder* dan memasuki *exhaust manifold* dan kemudian mengalir menuju *turbocharger* (bila dilengkapi).
Gas buang yang panas ini keluar dari *cylinder* mempunyai kecepatan aliran dan energi panas yang besar. Energi ini kemudian digunakan untuk menggerakan *turbine* pada *turbo charger* dan karena turbin terhubung satu shaft dengan *compressor* maka *compressor*-pun akan berputar sehingga udara masuk ke dalam *intake manifold*.

Cara Kerja *Turbocharger*

Gas buang mengalir melewati sudu-sudu pada *turbine wheel* dan menyebabkan *turbine* berputar. *Turbine wheel* dihubungkan dengan *shaft* dengan *compressor wheel*. Gas buang yang mendorong *turbine* dan menyebabkan *compressor wheel* berputar pada putaran tinggi, mencapai 30.000 sampai 130.000 rpm. Hal ini menyebabkan tekanan udara yang akan masuk menuju *cylinder* menjadi naik.

Pada saat beban *engine* meningkat, bahan bakar yang disemprotkan kedalam *cylinder* menjadi lebih banyak. Pembakaran yang meningkat akan menghasilkan gas buang yang lebih banyak sehingga putaran *turbine* dan *compressor* akan semakin cepat pula. Karenanya udara juga akan semakin banyak memasuki *cylinder*. Putaran maksimum *turbocharger* diatur oleh *fuel setting*, *high idle speed setting* dan ketinggian daerah operasi *engine*.

Waste gate adalah bagian dari beberapa *turbocharger*. Apabila *boost* lebih besar dari yang dianjurkan, maka *waste gate* terbuka untuk membuang gas buang dari sekeliling *turbin* ke atmosfer.

Dengan mengurangi aliran gas buang, maka akan memperlambat putaran *turbin* dan kompresor untuk mengontrol tekanan *boost*. *Turbocharger* memberikan banyak udara untuk memperbaiki pembakaran.

Gambar 1.27. Aliran Gas Buang

Khususnya alat berat yang mayoritas digunakan pada pekerjaan-pekerjaan yang membutuhkan tenaga yang besar misalnya:

- Pertambangan
- Real estate
- Proyek reklamasi
- Dll

Maka diperlukan suatu penggerak mula yang memiliki tenaga besar yaitu mesin disel. Perkembangan teknologi dan kebutuhan akan tenaga mesin yang besar serta kontrol emisi yang baik maka salah satu solusinya adalah dengan mendesain mesin disel dengan turbocharger.

d. Latihan.

1).Sebelum anda melakukan latihan-latihan, sebaiknya anda melaporkan pada guru pembimbing. Bentuklah grup latihan/kerja yang terdiri 4-5 orang setiap grup.

2).Pergilah ke *workshop* dan lakukan observasi pada mesin disel alat berat khususnya mengamati:

- Apakah mesin tersebut menggunakan *turbocharger*
- Jenis *turbocharger* yang digunakan
- Pendinginan udara yang digunakan.
- Kapasitas *turbocharger (manual book)*
- Sumber dan pengaliran pelumas ke *turbocharger.*

3).Melepaskan *turbocharger* dari mesin

- Mencatat langkah melepaskan
- Mencatat komponen-komponen yang dilepaskan.
- Mencatat bagian-bagian *turbocharger.*
- Membersihkan kotoran dari komponen-komponen yang dilepaskan
- Memasang kembali komponen-komponen *turbocharger.*
- Memasang *turbocharger* ke mesin dan menghidupkan mesin.

4).Mengamati operasional *turbocharger* (ikuti keselamatan kerja)

5).Membuat laporan latihan kelompok dan menyerahkan pada guru pembimbing

6).Membentuk kelompok diskusi yang terdiri dari 4 orang setiap grup, tunjuklah ketua grup, kerjakan dan diskusikanlah hal berikut:

- Ada berapa tipe pemasukan udara ke dalam silinder

  ____

  ____

  ____

- Apa gunanya *air cooler*

  ____

  ____

  ____

- Uraikan metoda *air cooler*

  ____

  ____

  ____

  ____

  ____

- Uraikan mengapa *turbocharger,* dapat meningkatkan performan *engine.*

  ____

  ____

  ____

  ____

  ____

  ____

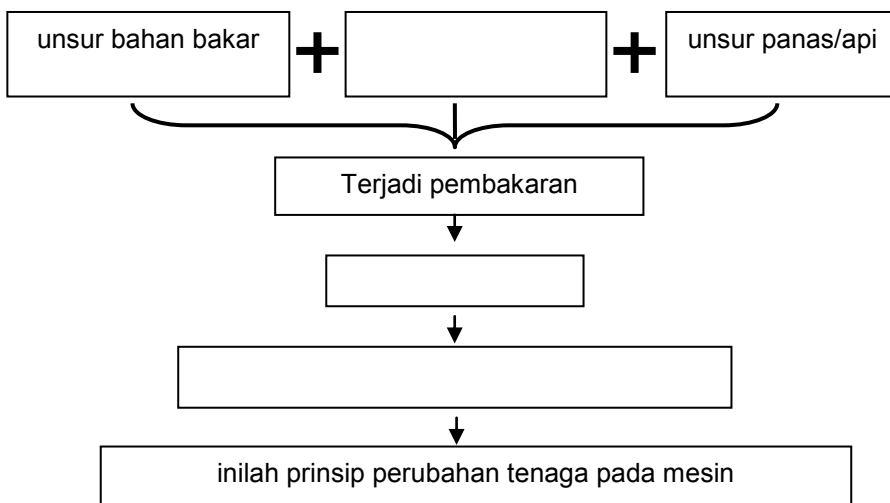
  ____

e. Tes Formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan benar.

1. Pada sebuah kendaraan apa yang menjadi sumber tenaga atau penggerak utama *(prime power).*
   Jawaban:
   ____

2. Ditinjau dari klasifikasinya disel termasuk kelompok motor bakar apa.?
   Jawaban:
   ____

3. Tuliskanlah kotak yang dikosongkan pada diagram berikut.

4. Jelaskan peruntukan mesin disel yang paling banyak digunakan.
   Jawaban.

   ____
   ____
   ____

5. Tuliskan sistem pemasukan udara pada *engine* yang dapat dikelompokkan menjadi:
   Jawaban.

   ____
   ____

6. Tuliskan tipe turbo yang digunakan pada *engine diesel.*
   Jawaban.

   ____
   ____

7. Jelaskan apa yang dimaksud dengan pernyataan dibawah ini
   Jawaban..
   - *Air to air aftercooler*

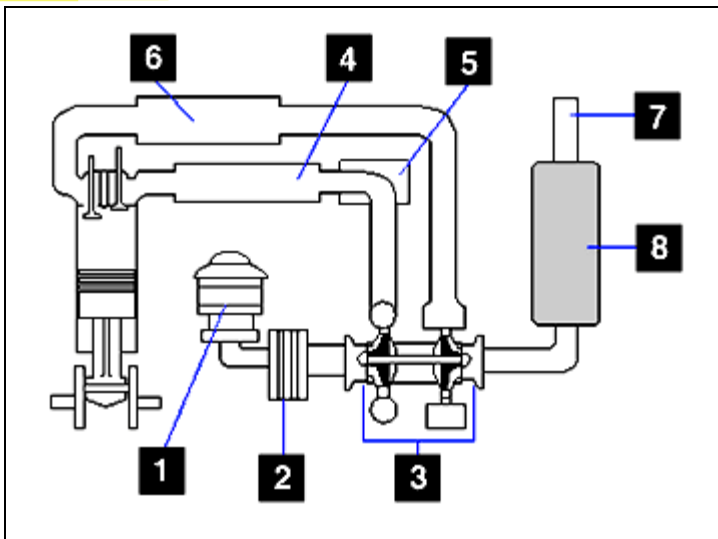
     ____
     ____
     ____
     ____
     ____

   - *Jacket water aftercooler*

     ____
     ____
     ____
     ____
     ____

   - *Separate circuit aftercooler*

     ____
     ____
     ____
     ____

8. Tuliskan nama komponen sesuai gambar dibawah ini.

Jawaban.

1.	5.
2.	6.
3.	7 .
4.	8 .

9. Uraikan fungsi dan cara kerja *precleaner*
   Jawaban.

   ____

   ____

   ____

10. *Dry element air cleaner* pada mesin disel adakalanya dilengkapi dengan indikator. Perhatikan gambar dibawah ini berilah tanda panah pada komponen indikator selanjutnya jelaskan apa fungsi indikator tersebut.

    Jawabannya.

Fungsinya

____

11. Jelaskan fungsi *turbocharger* pada mesin disel
Jawaban.

Keuntungannya:

Tenaga.

Effisiensi.

12. Isilah tabel dibawah ini.
Jawaban.

Air Temperature in the Inlet Manifold						
Type of Aspiration	Normal		Maximum		*	*
	°C	°F	°C	°F	°C	°F
Natural						
Turbocharged						
Turbocharged (JWAC)					20	35
Turbocharged (SCAC) 54°C (130°F) water					11	20
Turbocharged (SCAC) 32 °C (90 °F) water					22	40
Turbocharged (SCAC)					22	40
Turbocharged Air-to-Air Aftercooling			65	150		

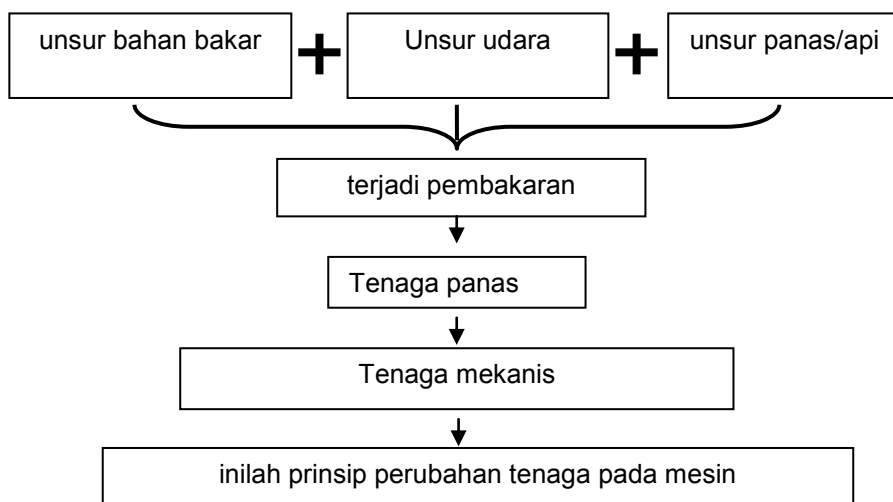
** Maximum difference between the inlet manifold air temperature and the after cooler supply water temperature.

f. Kunci Jawaban Tes Formatif

1. Pada sebuah kendaraan apa yang menjadi sumber tenaga atau penggerak utama *(prime power).*

   Jawaban:
   Engine

2. Ditinjau dari klasifikasinya disel termasuk kelompok motor bakar apa.?
   Jawaban:
   Motor pembakaran di dalam *(internal combustion engine)*

3. Tuliskanlah kotak yang dikosongkan pada diagram berikut.

4. Jelaskan peruntukan mesin disel yang paling banyak digunakan.

   Jawaban.
   Industri pertambangan
   Industri pertanian
   Industri real estate

5. Tuliskan sistem pemasukan udara pada *engine* yang dapat dikelompokkan menjadi:

   Jawaban.
   - *Natural aspirated*
   - *Turbocharger*

6. Tuliskan tipe turbo yang digunakan pada *engine diesel.*

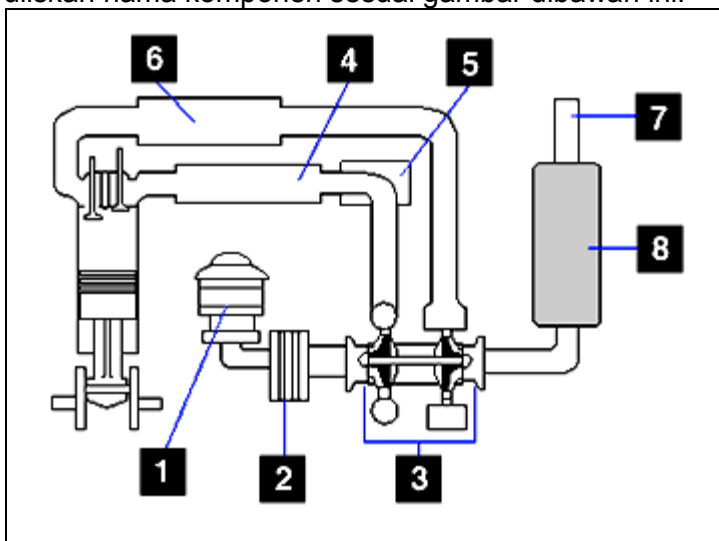
Jawaban.
- *Turbocharger*
- *Turbocharger aftercooler*

7. Jelaskan apa yang dimaksud dengan pernyataan dibawah ini.

   Jawaban.
   - *Air to air aftercooler*
     Dengan menggunakan *aftercooler* jenis ini, inti pendingin (*cooler core*) yang terpisah dipasang di bagian depan radiator *engine*. Udara dengan suhu luar yang dihembuskan oleh *fan engine* akan mengalir melintasi *aftercooler core*. Udara bertekanan dari *turbocharger* didinginkan oleh *air to air aftercooler* sebelum memasuki *intake manifold*.

   - *Jacket water aftercooler*
     Jacket water bekerja untuk mendinginkan *engine head*, *engine block*, oli transmissi dan lain-lain.

   - *Separate circuit aftercooler*
     Sistem *separate circuit aftercooler* memiliki pompa, saluran air dan pemindah panas tersendiri

8. Tuliskan nama komponen sesuai gambar dibawah ini.

Jawaban.

1.*Precleaner;*	5. *Aftercooler*
2.*Air filter;*	6. *Exhaust manifold*

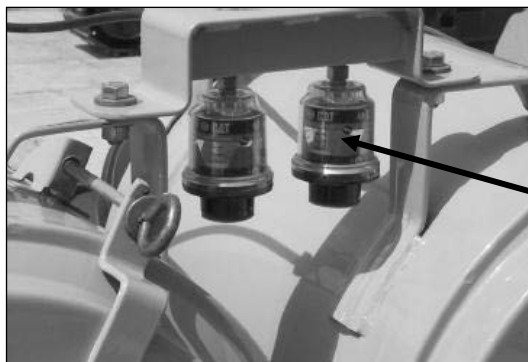
3.*Turbocharger;*	7. *Exhaust stack*
4.*Intake manifold*	8 . *Muffler;* dan *Connecting pipes*

9. Uraikan fungsi dan cara kerja *precleaner*

   Jawaban.

   Tujuan penggunaan *precleaner* adalah untuk menyaring partikel debu atau kotoran yang lebih besar sebelum memasuki *air cleaner*.
   Service indicator merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan kapan *air cleaner* harus dibersihkan.
   Elemen harus dibersihkan/disemprot dari arah dalam ke luar dengan udara bertekanan maksimum 270 kPa (30 psi).

10. *Dry element air cleaner* pada mesin disel adakalanya dilengkapi dengan indikator. Perhatikan gambar dibawah ini berilah tanda panah pada komponen indikator selanjutnya jelaskan apa fungsi indikator tersebut.

   Jawaban.

   Fungsinya

   Service indicator merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan kapan *air cleaner* harus dibersihkan. *Air cleaner* harus dibersihkan atau diganti apabila diafragma warna kuning memasuki area merah atau *piston* warna merah terlihat

11. Jelaskan fungsi *turbocharger* pada mesin disel
   Untuk meningkatkan performa dan effisiensi *engine*.

   Jawaban.
   Keuntungannya:
   Tenaga. Udara bertekanan memiliki lebih banyak oksigen per satuan volume. Dengan lebih banyak oksigen pada

cylinder maka lebih banyak juga bahan bakar yang dapat disemprotkan untuk dapat menghasilkan tenaga yang lebih besar.

Effisiensi. Proses penekanan dengan jumlah udara yang lebih mencukupi menghasilkan effisiensi pembakaran lebih tinggi sehingga akan menurunkan emisi dan konsumsi bahan bakar yang lebih bagusLengkapilah tabel temperatur udara yang masuk ke dalam ruang bakar mesin, dibawah ini:

12. Isilah tabel dibawah ini.
    Jawaban.

Air Temperature in the Inlet Manifold						
Type of Aspiration	Normal		Maximum		*	*
	°C	°F	°C	°F	°C	°F
Natural	29	85	43	110		
Turbocharged	149	300	163	325		
Turbocharged (JWAC)	107	225	118	245	20	35
Turbocharged (SCAC) 54°C (130°F) water	60	140	65	150	11	20
Turbocharged (SCAC) 32 °C (90 °F) water	46	115	54	130	22	40
Turbocharged (SCAC)	43	110	54	125	22	40
Turbocharged Air-to-Air Aftercooling			65	150		
** Maximum difference between the inlet manifold air temperature and the after cooler supply water temperature.						

2. Kegiatan Belajar 2. Sistem *engine*

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah selesai mempelajari materi kegiatan belajar 2 ini siswa dapat:

1). Menjelaskan fungsi sistem *engine* dengan benar sesuai buku pegangan

2). Menerangkan cara kerja sistem *engine* dengan benar sesuai buku pegangan.

3) Menjelaskan fungsi dan cara kerja komponen *engine* dengan benar sesuai buku pegangan

3). Pemeriksaan dan perawatan komponen sistem *engine* dilakukan dengan benar sesuai *manual*

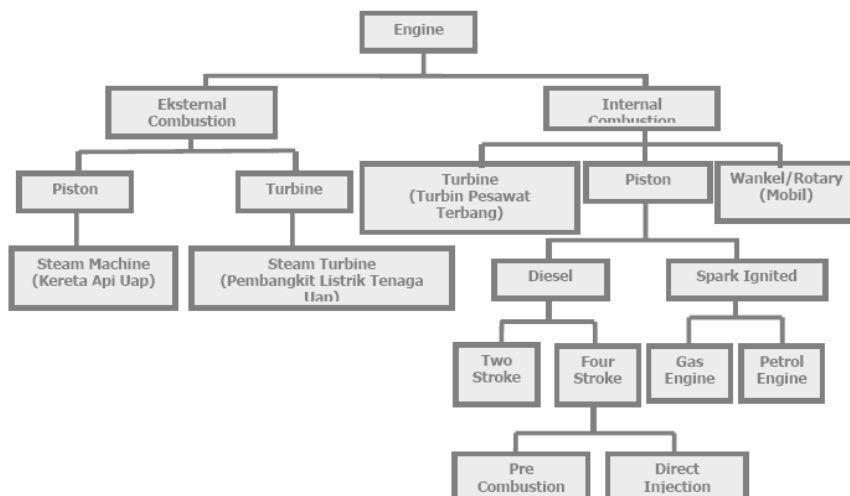
b. Uraian Materi

Mesin disel adalah salah satu tipe mesin pembakaran di dalam yang sangat mendomonasi dalam penggunaannya sebagai pesawat penggerak mula pada suatu peralatan yang dimanfaatkan pada bidang transportasi; pembangkit; dan sumber penggerak pada industri. Hal ini dalam usaha peningkatan efisiensi dan efektipitas kerja sehingga didapatkan produktivitas yang tinggi pada sektor-sektor seperti disebutkan diatas.

Berdasarkan fungsinya maka terminologi *engine* pada alat berat biasa digunakan sebagai sumber tenaga atau penggerak utama *(prime power).* Banyak merk alat berat yang terdapat dipasar, namun secara umum funsinya sama walaupun terdapat spesifikasi khusus pada setiap merk mesin alat berat tersebut. Kondisi alat berat yang dipergunakan selalu berkembang dari waktu ke waktu dan setiap merk selalu berusaha meningkatkan kemampuan *engine* ke level yang lebih tinggi.

Gambar 2.1. Alat berat

Dewasa ini para produsen alat berat mengembangkan *engine-engine* yang dipergunakan misalnya menggunakan teknologi electronik untuk mengontrol sistem kerjanya agar kemampuan *engine* meningkat dan

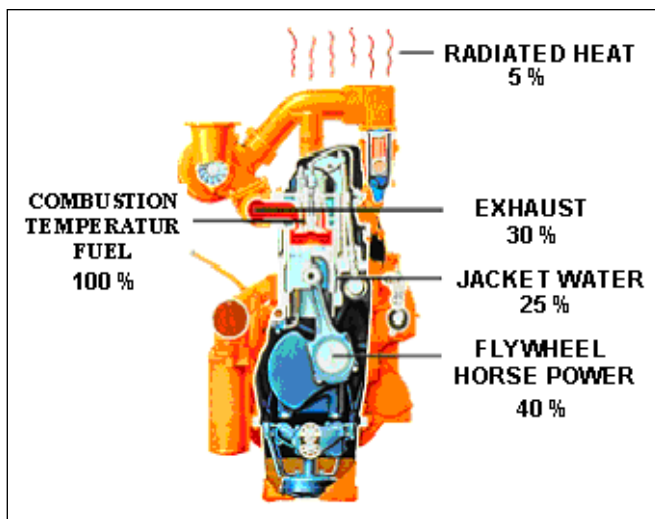
menurunnya emisi gas buang, karena dinegara-negara maju terdapat suatu standar gas buang yang harus diikuti oleh produsen alat berat.
Seiring dengan perkembangan teknologi yang ada dan perkembangan *engine* sejak ditemukan dan dirancang maka *engine* dapat diklasifikasikan serti bagan berikut ini:

Gambar 2.2. Klasifikasi engine

Dari bagan tersebut maka penggolongan yang pertama dilakukan adalah membagi *engine* berdasarkan tempat terjadinya proses pembakaran dan tempat perubahan energi panas menjadi energi gerak. Apabila kedua peristiwa tadi terjadi dalam ruang yang sama maka *engine* tersebut dikategorikan sebagai *engine* dengan jenis *internal combustion*. Sedangkan apabila ruang tersebut terpisah maka *engine* tersebut dikategorikan sebagai *engine eksternal combustion*.

Eksternal combustion engine selanjutnya dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu: turbine dan *piston*. Pada *engine* jenis *internal combustion* penggolongan *engine* selanjutnya terdiri dari: *engine piston*, *turbine* dan *wankel* atau *rotary*. Berdasarkan perlu tidaknya percikan bunga api untuk proses pembakaran maka *engine piston* dibagi menjadi dua jenis, yaitu: *engine diesel* dan *engine spark ignited*. Merujuk pada banyaknya langkah yang diperlukan untuk mendapat satu langkah *power* maka *diesel engine* dibagi menjadi *engine diesel* dua langkah *(two stroke)* dan empat langkah (four stroke). Selanjutnya *engine diesel* empat langkah digolongkan lagi berdasarkan cara pemasukan bahan bakar ke dalam ruang bakar menjadi dua tipe yaitu: *engine* dengan *sistem pre-combustion chamber* dan *direct injection*. Pada *spark ignited engine*

penggolongan pertama didasarkan pada jenis bahan bakar yang digunakan, yaitu: *engine* berbahan bakar gas dan bensin.

1) Sistem Pendinginan

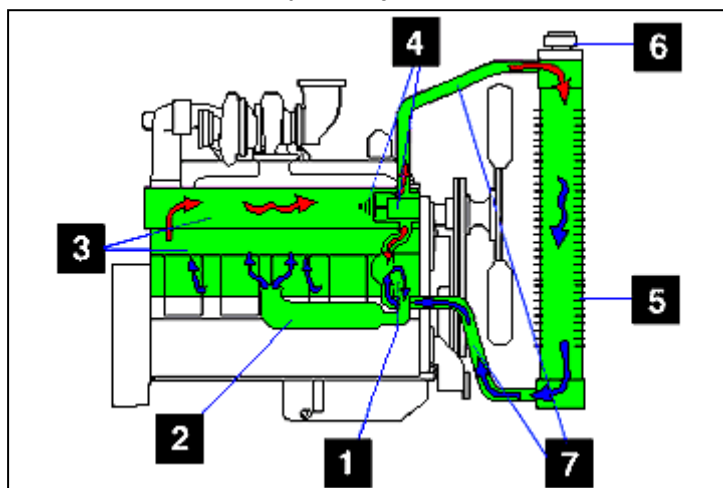
Engine diesel tergantung pada sistem pendingin untuk dapat mencapai performa maksimum dan usia pakai yang lama. Masalah pada sistem pendingin meliputi kebocoran kecil, keluhan pada konsumsi bahan bakar, keausan *engine* yang cepat atau kerusakan yang parah secara tiba-tiba. Bila aliran *coolant* pada *engine* berhenti baik sebentar apalagi dalam jangka waktu cukup lama, maka hal ini beresiko munculnya kerusakan yang signifikan pada *engine*.

Gambar 2.3. Sistem Pendingin dan Penyebaran Energi

Sistem pendingin *engine* bertanggung jawab untuk menjaga suhu *engine* agar selalu berada pada suhu operasi. Hal itu diperlukan karena *engine* akan beroperasi optimum pada suhu operasinya. Sistem pendingin mensirkulasikan cairan pendingin ke seluruh *engine* untuk menyerap dan membuang panas yang timbul akibat pembakaran dan gesekan.

Sistem pendinginan menggunakan dasar pemindahan panas. Panas selalu pindah dari sumber panas yang lebih tinggi ke sumber panas yang lebih rendah (dingin). Sumber panas dan media pemindahan panas dapat berupa logam, cairan atau udara. Apabila perbedaan suhu tersebut semakin jauh maka makin banyak panas akan berpindah.

Pendinginan *engine* mengacu pada prinsip *konduksi*, *konveksi* dan *radiasi* dari energi panas agar *engine* bekerja pada suhu yang tepat.

Coolant menerima panas yang dilepaskan oleh komponen-komponen pada *engine* seperti *engine block*, *cylinder head* dan lain-lain. *Coolant* kemudian di alirkan oleh *water pump* dari *engine* menuju *radiator*. Pada *radiator*, energi panas dipindahkan secara *konveksi* ke udara yang melintasi *fins radiator*. Sebagai tambahan, *engine* juga memancarkan sejumlah panas ke atmosfer secara langsung dalam bentuk panas yang dilepaskan *engine* ke udara sekeliling *engine*.

Pembakaran yang terjadi di dalam silinder *engine diesel* dapat menghasilkan panas hingga mencapai temperatur 3000°F (1648°C). Apabila *engine* beroperasi tanpa sistem pendingin maka dalam waktu sekejap akan terjadi kerusakan. Secara umum *engine* beroperasi pada temperatur antara 88-98 °C (190-210°F), jika beroperasi terlalu dingin ataupun terlalu panas maka akan menyebabkan kerusakan pada *engine* atau usia pakainya menjadi pendek.

Gambar 2.4. Skema Sistem Pendingin *Engine*

Keterangan gambar, komponen-komponen dasar sistem pendingin

1. *Water pump*	5. *Radiator*
2. *Oil cooler*	6. *Radiator cap*
3.Lubang-lubang pada *engine block* dan *cylinder head*	7. *Hose* serta pipa-pipa penghubung
1. *Temperatur regulator* dan rumahnya	

Tambahan kipas, umumnya digerakkan oleh tali kipas terletak dekat *radiator* berguna untuk menambah aliran udara sehingga pemindahan panas lebih baik.

Engine juga bisa memiliki komponen lain yang didinginkan seperti *aftercooler*, *oil cooler*, *hydraulic oil cooler* ataupun *transmission oil cooler*.

Pada beberapa *engine marine* ataupun aplikasi *engine* yang tetap (diam) seperti *genset* ataupun *engine* yang digunakan untuk menggerakkan pompa, memiliki *heat exchanger* sebagai pengganti *radiator*.

Komponen–Komponen Sistem Pendingin

a). Water Pump

Water pump berfungsi mensirkulasikan cairan pendingin (*coolant*) supaya mengalir ke seluruh sistem pendinginan dan menyerap panas yang timbul. Beberapa jenis *Water pump* digerakkan langsung oleh gear yang berada pada *front housing* dan ada juga yang digerakkan oleh *Vee belt* yang terhubung ke *pulley* di bagian depan *crankshaft*.

Gambar 2.5. *Water pump*

b). Oil cooler

Dari saluran keluar *water pump*, cairan pendingin mengalir ke *oil cooler*. *Oil cooler* terdiri dari satu set tabung dalam rumahnya. Pada contoh ini cairan pendingin mengalir melalui tabung-tabung sehingga menyerap dan membuang panas oli yang ada di sekeliling tabung. *Oil cooler* membuang panas dari oli pelumas sehingga sifat-sifat dan konsentrasi oli tetap terpelihara.

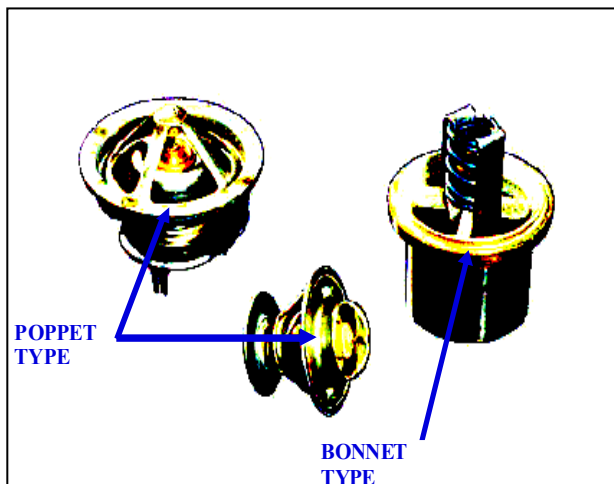
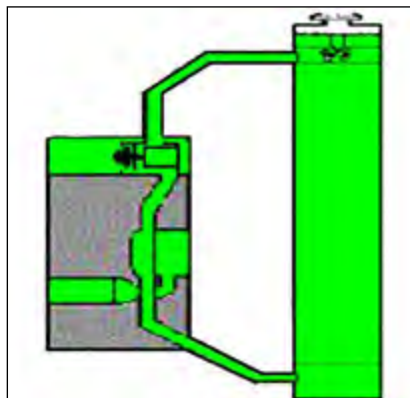
Gambar 2.6. *Oil Cooler*

c). Jacket Water

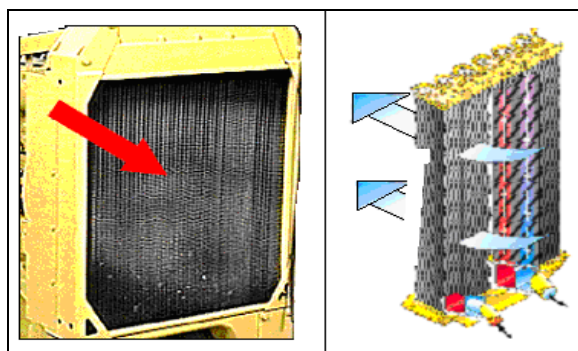
Saluran *coolant* yang terdapat disekeliling *block engine* dan *cylinder head* disebut *jacket water*. *Jacket water* merupakan ruangan besar pada *block* dan *head* yang mengelilingi *cylinder* pada *engine*.

Gambar 2.7. *Jacket water*

Ruangan ini normalnya dipenuhi *coolant* untuk menjaga agar suhu *engine* merata. Karena seluruh permukaan *jacket water* terdiri dari logam besi maka air sebagai media pendingin harus di campur dengan zat kimia anti karat atau disebut juga *coolant conditioner*.

d). Water Temperatur Regulator

Gambar 2.8. *Thermostat*

Gambar 2.9. Penyerap dan pemindah panas

Water temperatur regulator atau *thermostat* mengatur aliran *coolant* menuju *radiator*. Saat *engine* dalam kondisi dingin, *thermostat* menutup aliran air menuju *radiator* dan *coolant* dari *engine* akan dialirkan menuju *water pump* melalui *bypass tube* lalu kembali ke *engine*.
Ini akan membantu agar *engine* dapat mencapai suhu kerja dengan cepat. Saat *engine* panas, *thermostat* akan mengalirkan air menuju *radiator* untuk didinginkan sebelum memasuki *engine*.
Thermostat tidak secara penuh membuka atau menutup, tetapi berada dalam posisi keduanya untuk mempertahankan agar suhu *engine* tetap konstan. Suhu *engine* yang tepat sangatlah penting.
Engine yang terlalu dingin tidak akan bekerja menghasilkan suhu yang cukup tinggi untuk mendapatkan pembakaran yang effisien dan akan menyebabkan munculnya endapan pada sistem pelumasan *engine*. *Engine* yang terlalu panas akan menyebabkan *engine* panas (*overheat*) dan menyebabkan kerusakan yang serius pada *engine*.

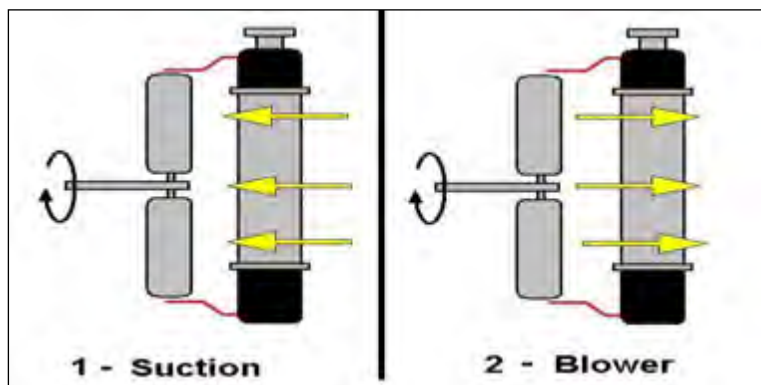
e). Radiator

Gambar 2.10. *Radiator*

Radiator merupakan komponen sistem pendingin yang melepaskan panas pada *coolant* ke udara. *Radiator* memiliki *tube* sebagai tempat mengalirnya *coolant*, yang umumnya dari atas ke bawah. Pada bagian bawah *radiator* terdapat *hose* yang menghubungkan *radiator* dengan pompa.

Pada *tube* terdapat *fins* untuk membantu mempermudah melepaskan panas ke udara saat udara melewati *fins radiator*. Ukuran *radiator* sudah diperhitungkan oleh pabrik sesuai kemampuannya membuang panas yang sangat ditentukan oleh performa engine. Aliran udara diperoleh dari kipas (*fan*) yang digerakkan oleh *Vee belt* atau *fan motor*.

Secara umum setiap *engine* dilengkapi dengan sebuah radiator namun untuk merk *engine* tertentu terdapat lebih dari satu radiator misalnya pada *engine caterpillar* berdasarkan konstruksinya menggunakan dua jenis *radiator* yaitu:

- *Radiator konvensiona*l, jenis ini memiliki sebuah rangkaian *fin* dan *core* yang tergabung pada radiator.
- *Radiator modular*, jenis ini memiliki beberapa rangkaian *fin* dan *core* yang tergabung pada *radiator*. Keuntungan jenis ini adalah, apabila terjadi kerusakan pada sejumlah rangkaian *fin* dan *core*, maka cukup mengganti rangkaian yang rusak saja.

f). Fan (Kipas)

Gambar 2.11. *Fan*

Pemindahan panas melalui *radiator* adalah dengan bantuan kipas untuk menambah aliran udara melewati tabung dan sirip *radiator*. Ada 2 tipe kipas yaitu; hisap (*suction*); dan tiup (*blower*).

Kipas hisap 1 (*suction*) menarik udara melalui *radiator* dan kipas tiup 2 (*blower*) menekan udara melalui *radiator*. Beberapa *engine* menggunakan tali kipas untuk mengerakkan kipas, pompa air atau komponen lainnya. Bila tali kipas terlalu kendor, kecepatan putar kipas turun. Ini akan mengurangi aliran udara melewati *radiator* dan akan menurunkan kemampuan sistem pendingin.

g). Radiator Cap

Gambar 2.12. *Radiator Cap*

Komponen sistem pendingin yang mungkin paling dilupakan adalah *radiator cap* (*pressure cap*). *Pressure cap* memiliki *relief valve* yang menjaga agar tekanan pada sistem pendingin tidak melebihi tekanan yang diinginkan. *Pressure cap* mempertahankan tekanan pada sistem pendingin.

Sistem pendingin dibuat bertekanan dengan tujuan:

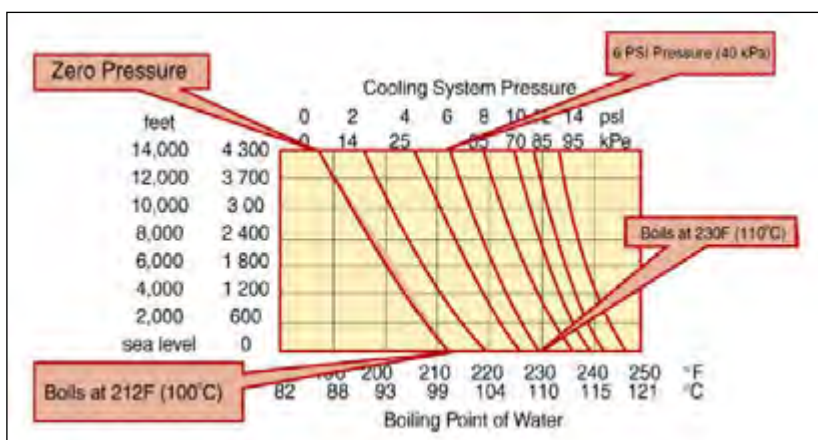
- Supaya aman beroperasi pada daerah ketinggian;
- Sistem pendingin dapat beroperasi pada temperatur diatas temperatur titik didih air yang normal karena pada beberapa engine yang dilengkapi dengan *safety device*, sehingga apabila temperatur *coolant* naik melebihi titik didih air maka dengan adanya *radiator cap*, cairan pendingin tidak mendidih; dan
- Dengan adanya tekanan pada sistem pendingin maka gelembung udara yang dapat menyebabkan kavitasi relatif berkurang.

Dengan menaikkan tekanan sebesar 1 psi, titik didih air akan naik sebesar 3,25^{o}F, yang memungkinkan air tidak mendidih pada suhu 212^{o}F (100^{o}C). Umumnya *radiator cap* memiliki *relief valve* yang sanggup menahan tekanan sistem pendingin bervariasi antara 7 psi sampai 15 psi. Ketika temperatur *coolant* naik maka tekanan sistem pendingin juga akan naik karena sistem menggunakan sistem tertutup.

Pada saat tekanan mencapai nilai pembukaan *relief valve* maka air dan udara yang bertekanan akan dibuang atau ditampung bila *engine* menggunakan *reservoir*. Proses ini berlangsung untuk mencegah tekanan yang berlebihan pada sistem pendingin.
Valve pada *radiator cap* juga mencegah kevakuman pada sistem, *valve* membuka ketika tekanan di sistem lebih rendah 1 Psi dibawah tekanan atmosfer dan membiarkan udara masuk kedalam sistem atau *coolant* yang ditampung pada *reservoir* kembali masuk ke *radiator*.

Perawatan Sistem Pendingin

Perawatan sistem pendingin merupakan hal yang sangat penting dilakukan, karena berdampak secara langsung kepada umur *engine* dan biaya operasi. Konsekuensi dari pemilihan cairan pendingin yang tidak tepat dan perawatan yang tidak baik akan menimbulkan kerusakan serius dan besarnya biaya rekondisi *engine*.

Materi ini akan membahas tentang aspek-aspek yang mempengaruhi kondisi sistem pendingin dan prosedur perawatan sistem pendingin.
Hubungan antara Temperatur & Tekanan Sistem Pendingin

Gambar 2.13. *Cooling sistem pressure & temperatur*

Sistem pendingin didesain untuk menjaga *engine* tetap beroperasi pada temperatur tertentu supaya *engine* dapat beroperasi secara efisien dengan umur komponen yang optimal. Sistem pendingin mengatur temperatur dengan memindahkan panas *engine* ke cairan pendingin dan kemudian ke udara atau air yang berada diluar sistem. Seberapa cepat perpindahan panas berakibat langsung pada temperatur sistem. Jika cairan pendingin mulai mendidih maka ia akan keluar melalui *pressure relief valve* pada *cap*. Hal ini akan mengurangi jumlah air di sistem pendingin dan dapat mengakibatkan kerusakan pada *engine.* Temperatur mendidihnya *coolant* tergantung beberapa faktor yaitu:

- Tekanan operasi pada sistem pendingin
- Ketinggian operasi dari unit yang memakai sistem pendingin dari permukaan laut.
- Jumlah kadar dan tipe *antifreeze* yang dipergunakan.

Titik didih air akan naik jika tekanan sistem pendingin naik dan titik didih air akan turun dengan semakin tingginya daerah operasi dari permukaan laut karena tekanan yang lebih rendah daripada tekanan pada permukaan air laut. Oleh karena itulah kenapa temperatur dan tekanan harus diperhatikan. Sebagai contoh dari grafik pada gambar 2.47, bila suatu engine beroperasi pada ketinggian 12000 ft (3650 m) dengan tekanan sistem pendingin 0 Psi (*radiator cap* dilepas) maka *coolant* akan mendidih pada temperatur 188°F. Tentunya kondisi ini dapat menimbulkan masalah pada sistem pendingin. Jika di pasang *radiator cap* dengan tekanan 6 Psi maka titik didih air akan menjadi 210° F.

Kondisi ini aman untuk *engine* karena temperatur operasi engine sampai 205°F. Hal ini mungkin saja terjadi pada *engine off highway truck* yang ketinggian beroperasinya selalu berubah-ubah. Dari contoh diatas terlihat jelas pengaruh dari tekanan didalam sistem pendingin terhadap titik didih *coolant* (*coolant*).

Konsentrasi *Antifreeze* & Titik Didih Air

Selain ketinggian dan tekanan, hal yang dapat mempengaruhi titik didih air adalah jumlah dan jenis *antifreeze*, disamping *antifreeze* juga menurunkan titik beku air. Titik didih *coolant* akan naik jika konsentrasi *ethylene glycol* semakin banyak, tetapi *ethylene glycol* yang berlebihan akan menghambat perpindahan panas pada sistem pendingin. Untuk itu konsentrasi dari *ethylene glycol* perlu diperhatikan tidak melebihi 60%.

Tabel 2.Titik didih cairan pendingin

Titik didih cairan pendingin pada konsentrasi *antifreeze* yang berbeda	
% Konsentrasi	**Titik didih campuran air dan *ethylene glycol***
20	103°C (217°F)
30	104°C (219°F)
40	106°C (222°F)
50	108°C (226°F)
60	111°C (231°F)

Karakteristik Air Sistem Pendingin

Air dipergunakan sebagai media sistem pendingin karena mudah didapat dan merupakan pemindah panas yang baik. Setiap sumber air mengandung endapan kotoran yang tidak dibutuhkan, kotoran dapat menimbulkan asam dan

tumpukan deposit yang dapat mengurangi umur sistem pendingin. Air yang dapat dipergunakan sebagai cairan pendingin adalah yang tidak mengandung kotoran yang berlebihan dan berada pada batas tertentu seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Karakteristik air pendingin

Karakteristik minimal air yang diperbolehkan pada sistem pendingin		
Kandungan	Nilai maksimal	ASTM metode test
Chloride(Cl),gr/gal(ppm)	2,4(40)max	D512b,D512d,D4327
Sulfate(SO4), gr/gal(ppm)	5.9(100)max	D512b,D512d,D4327
Total Harness, gr/gal(ppm)	10(170)max	D1126b
Total Solids, gr/gal(ppm)	20(340)max	D1888a
pH	5.5-9.0	D1293

Kandungan mineral yang berlebihan pada air dapat menyebabkan kerusakan pada *engine* karena terhambatnya perpindahan panas. Sebagai contoh, deposit kapur setebal 1/32 inchi pada sistem pendingin sebanding dengan ketebalan 2 inchi besi dalam hal perpindahan panas.
Sedimen dan endapan yang lepas di sistem pendingin dapat menyebabkan tersumbatnya saluran dan mengganggu aliran cairan pendingin.
Karakterisrik air selalu berbeda-beda pada masing-masing daerah, contohnya air pada daerah pantai mengandung kadar *chloride* tinggi dan daerah tambang batubara mengandung kadar *sulfat* yang tinggi. Untuk itu maka sebaiknya air yang dipergunakan untuk sistem pendingin adalah air yang sudah melalui proses *destilasi* atau penyulingan.
Pengetesan kadar kandungan air dapat dilakukan pada laboratorium departemen perindustrian atau mengirim *sample* air ke perusahaan yang dapat melakukan pengetesan.
Didaerah yang tidak terdapat air *destilasi* (disuling), lakukan petunjuk dibawah ini :

- Jangan gunakan air garam.
- Pilih air yang berkualitas baik atau *test sampel* air untuk menentukan kandungannya.
- Jangan gunakan air tanpa dicampur dengan *supplement coolant additive* (SCA) karena air bersifat korosif.
- Isi sistem pendingin dengan *ELC* dimana campurannya sudah terdiri dari air, *coolant conditioner* dan *antifreeze* tanpa perlu melakukan penambahan air lagi.

Coolant and Additive

Supplement Coolant Additive (SCA)

Air yang sesuai dengan standar harus dicampur dengan *supplement coolant additive* atau disebut dengan *coolant conditioner* sebanyak 6-

8% dari volume sistem pendingin apabila tidak menggunakan *antifreeze* dan sebanyak 3-6% dari volume sistem pendingin apabila menggunakan *antifreeze*.

Umur pemakaian *SCA* adalah 3000 jam dan harus diperiksa konsentrasinya setiap 250 jam.

Fungsi dari *SCA* adalah:

- Menghindari korosi
- Menghambat terbentuknya mineral deposit
- Menghindari kavitasi
- Mencegah timbulnya busa (*foaming*)

Berikut salah satu contoh *CSA* yang dikemas pada salah satu merk alat berat.

Gambar 2.14. *Supplemet coolant additive*

Untuk menentukan jumlah *SCA* yang akan ditambahkan pada sistem pendingin terdapat beberapa rumus yaitu:

- Rumus penambahan *SCA* untuk pertama kali pengisian (initial fill), jika sistem pendingin hanya terdiri dari campuran air dan *SCA*.

$$V \times 0{,}07 = X$$

Dimana:

V = Volume Sistem pendingin
X = jumlah *SCA* yang ditambahkan.

Jika volume sistem pendingin sebesar 100 liter maka jumlah *coolant conditioner* yang ditambahkan adalah:

$$100 \times 0{,}07 = 7 \text{ liter}$$

- Rumus penambahan *SCA* untuk pertama kali pengisian (*initial fill*) apabila sistem pendingin diisi dengan *komersial antifreeze* (bukan *Caterpillar*) yang memenuhi standar *ASTM D4985* dan *ASTM D5345.*

  $$V \times 0,045 = X$$

  Dimana

  V = Volume cooling sistem

  X = Jumlah *SCA* yang ditambahkan

  Jika Volume sistem pendingin adalah 100 liter, maka *SCA* yang ditambahkan:

  $$100 \times 0,045 = 4.5 \text{ liter}$$

Setelah masa pakai selama 3000 jam maka sistem pendingin harus dibersihkan/dikuras. Sebelum melakukan pengisian kembali, sistem pendingin harus di *flushing* menggunakan campuran air dan *cooling sistem cleaner*.

Supplement Coolant Additive Element

Gambar 2.15. *Supplement coolant additive element*

Supplement coolant additive element merupakan *coolant conditioner* yang berbentuk *filter*, fungsinya sama dengan *SCA* yang berbentuk cairan. *SCA* element dibuat dengan tujuan lebih memudahkan dan mempersingkat proses perawatan.

Coolant conditioner element terdiri dari dua macam yaitu:

- *Initial precharge element*

  Element ini dipasang saat pertama kali (*initial*). Apabila Sistem pendingin menggunakan *Diesel Engine Antifreeze coolant (DEAC)*, *element* jenis ini tidak perlu lagi dipasang.

- *250 Hours maintenance element*
  Element ini dipasang setiap 250 jam baik itu pada sistem pendingin yang menggunakan *DEAC* ataupun hanya air biasa.

Setiap 3000 jam sistem pendingin harus dikuras dan dibersihkan/dikuras menggunakan *cooling sistem cleaner*.

Diesel Engine Antifreeze Coolant (DEAC)

Gambar berikut ini adalah salah satu contoh DEAC yang dikemas dengan merk alat berat tersebut.

Gambar 2.16. *Diesel EengineAntifreeze Coolant (DEAC)*

Diesel Engine Antifreeze Coolant (*DEAC*) merupakan campuran dari *SCA* dan *antifreeze* dengan kadar yang sesuai. Ketika melakukan pengisian *DEAC* pada *engine*, harus ditambah dengan air d*estilasi* (Air suling). Konsentrasi *antifreeze* sistem pendingin adalah 30 – 60% untuk memperoleh kemampuan yang maksimal dalam menurunkan titik beku dan menaikkan titik didih air.

Sewaktu melakukan pengisian *DEAC* untuk pertama kali tidak dibutuhkan penambahan *SCA* atau pemasangan *initial precharge SCA element*, namun penambahan *SCA* atau pemasangan *250 Hours SCA maintenance element* masih dibutuhkan pada saat perawatan untuk menjaga kandungan *coolant conditioner* sebesar 3-6%. *Interval maintenance* sesuaikan dengan *operation & maintenance manual (OMM)*.

Usia pemakaian dari *DEAC* adalah 3000 jam, kemudian sistem pendingin harus dibersihkan/dikuras dan menggunakan *CAT cooling sistem cleaner*.

Extended Life Coolant (ELC)

ELC merupakan formula berteknologi terkini dengan campuran bahan organik sebagai penghambat korosi. *Cat ELC* menggunakan *carboxylate technology* guna memaksimalkan perlindungan terhadap

enam logam campuran dasar yaitu tembaga, timah, kuningan, baja, besi cor, dan aluminum yang ditemukan pada sebagian besar media pemindahan panas.
Nitrite dan *molybdate* ditambahkan untuk melindungi komponen yang terbuat dari besi pada sistem pendingin, mengurangi terjadinya karat pada baja, *liner* yang terbuat dari besi cor dan *pitting* pada *block*.
Extend life coolant (ELC) yang dipasarkan terdiri dari dua jenis yaitu:

- *Premix*
  Premix merupakan campuran yang terdiri dari 50% *ELC* & 50% *purified water* (air murni). Pemakaian *ELC* jenis *premix* pada *engine* **tidak memerlukan penambahan air** dan **tidak boleh ditambah atau dicampur dengan *DEAC* maupun *SCA*.**
  Penggunaan *ELC premix* 50/50 dapat meningkatkan titik didih air (*Boiling protection*) saat menggunakan *radiator cap* 15 psi (1 Bar) adalah 129°C (265°F) dan menurunkan titik beku air hingga -37°C (-34°F).

- *Concentrate*
  ELC Concentrate dipergunakan untuk meningkatkan konsentrasi *ELC* hingga 60 % pada *ELC jenis Premix* guna menaikkan titik didih dan menurunkan titik beku air. Penambahan *ELC concentrate* dengan komposisi 60% *Cat ELC* / 40% air akan menaikkan titik didih air hingga 132°C (270°F) dan penurunan titik beku air hingga -52°C (-62°F).

Gambar 2.17. *ELC extender*

Usia pakai *ELC* adalah 12000 jam dan setiap 6000 jam ditambah dengan cairan *extender* (*part number*-nya berbeda dengan *ELC*). Pada tabel berikut, terlihat jumlah penambahan *Cat Extender* sesuai dengan kapasitas sistem pendingin.

Tabel 4.Penambahan *cat extender*

Cooling System Capacity	Approximate Amount of Cat ELC Extender
22 to 30 L (6 to 8 gal)	0.50 L (20 fl oz)
31 to 38 L (8 to 10 gal)	0.75 L (24 fl oz)
39 to 49 L (10 to 13 gal)	1.00 L (32 fl oz)
50 to 64 L (13 to 17 gal)	1.25 L (40 fl oz)
65 to 83 L (17 to 22 gal)	1.60 L (54 fl oz)
84 to 114 L (22 to 30 gal)	2.15 L (72 fl oz)
115 to 155 L (31 to 41 gal)	3.00 L (96 fl oz)
156 to 197 L (42 to 52 gal)	4.00 L (128 fl oz)
198 to 243 L (53 to 64 gal)	4.75 L (160 fl oz)

Faktor-faktor yang mempengaruhi sistem pendingin

Kemampuan sistem pendingin dalam menjaga temperatur operasi *engine* sangat tergantung kepada faktor-factor dibawah ini :

Faktor lingkungan

Pada saat temperatur daerah sekeliling engine (ambient temperatur) tinggi, maka temperatur cairan pendingin naik. Hal ini disebabkan oleh karena jumlah panas yang dipindahkan dari radiator ke udara sekitar menjadi berkurang.

Ketinggian suatu *engine* beroperasi dari permukaan laut berpengaruh terhadap pendinginan *engine*. Saat ketinggian meningkat, kerapatan udara menurun sehingga volume aliran udara ke core *radiator* berkurang.

- Faktor kondisi operasi

Mengoperasikan engine pada kondisi lug atau torque converter stall dalam waktu yang lama dapat menyebabkan panas engine berlebihan (overheating). Kelebihan beban (overload) yang terjadi pada engine menimbulkan panas yang berlebihan, Fenomena ini terjadi karena pada kondisi engine lug menyebabkan kecepatan engine turun sehingga dalam kondisi yang bersamaan kecepatan kipas (fan) dan water pump juga turun.

Hal ini mengurangi aliran udara ke radiator dan panas yang dapat dipindahkan ke udara sedikit. Oleh karena itu metode pengoperasian yang benar sangatlah penting untuk menghindari masalah pada sistem pendingin.

Pengukuran Konsentrasi Additive

Coolant Conditioner Test Kit

Gambar 2.18. *Coolant conditioner test kit*

Pengukuran konsentrasi *coolant conditioner* dan *antifreeze* pada cairan pendingin menggunakan *coolant conditioner test kit* merupakan metode yang cepat dan mudah. Pengukuran tersebut dibagi menjadi dua jenis pengukuran yaitu:

- Pengukuran konsentrasi *antifreeze*
  Pengukuran konsentrasi *antifreeze* dalam *coolant* dilakukan dengan menggunakan *coolant* test kit (*8T5296 conditioner test kit*). Bola yang mengapung di dalam pipet, menunjukkan konsentrasi dari *ethylene glycol* yang merupakan zat kimia didalam *antifreeze*.
  Cara pengetesan:
  - Gunakan *specific gravity tester* (Tabung yang didalamnya terdapat 5 buah bola) yang sudah dibersihkan terlebih dahulu dari sisa cairan pada pengukuran sebelumnya.
  - Isi tabung dengan air *radiator* sebanyak ¾ bagian.
  - Buang udara dari dalam tabung dengan menggoyang-goyangkan
  - Periksa berapa buah bola yang mengapung dan tentukan konsentrasi *antifreeze* menggunakan tabel dibawah ini.

Tabel 5.Konsentrasi *antifreeze*

Bola yang Mengapung	**Konsentrasi**	**Titik Beku**	**Titik Didih**
Tidak ada	< 20%	<16°F/-9°C	<216°F/<102°C
1 bola	20 – 25 %	16°F/-9°C	216°F/<102°C
2 bola	25 – 35 %	10°F/-12°C	218°F/<103°C
3 bola	35 – 45 %	-5°F/-21°C	221°F/<105°C
4 bola	45 – 50 %	-22°F/-30°C	224°F/<107°C
5 bola	> 50 %	-34°F/-37°C	225°F/<107°C

- Pengukuran konsentrasi *coolant conditioner*
  Konsentrasi *antifeeze* harus diketahui terlebih dahulu, sebelum melakukan pengetesan konsentrasi *conditioner coolant engine* (*coolant; conditioner; concentration*). Karena konsentrasi

antifreeze dalam *coolant* akan menentukan hasil pembacaan pada pengetesan konsentrasi secara tepat.
Untuk melakukan pengetesan konsentrasi atau kadar *conditioner* dari *coolant*, diperlukan seperangkat alat yaitu *8T5296 conditioner test kit*. Dengan prosedur sebagai berikut:

- Dengan memakai pipet pengukur yang terdapat di dalam test-kit, ambil 1 (satu) mililiter *coolant* yang akan ditest dan masukkan ke dalam botol berskala yang tersedia (botol harus dalam keadaan bersih).
- Tambahkan air tersebut dengan air bersih, hingga tinggi air pada botol menunjukkan angka 10 mililiter.
- Masukkan 2 (dua) atau 3 (tiga) tetes **solusi B** (cairan merah), kemudian dikocok hingga merata.
- Setelah itu, tuangkan **solusi A** (cairan kuning) setetes demi setetes ke dalam botol dan dikocok. Hitung berapa jumlah tetes yang dimasukkan, sampai cairan di dalam botol berubah warna menjadi hijau, biru atau abu-abu.

Bandingkan jumlah tetesan yang diperlukan untuk mengubah warna dengan tabel yang tersedia di dalam test-kit seperti di bawah ini:

Tabel 6.Pengujian *Conditioner*

Jumlah tetesan	**Level *nitrite* (PPM)**	**Kondisi *ELC***	**Kondisi *DEAC***
0-3 tetes	0	Perlu analisis	Perlu pengisian awal
4-6 tetes	300	Perlu analisis	Tambah 1 botol *SCA*
7-10 tetes	500	Level ideal	Tambah 3/4 botol *SCA*
11-14 tetes	1200	Dapat diterima	Tambah 1/2 botol *SCA*
15-17 tetes	1600	Dapat diterima	Dapat diterima
18-39 tetes	2000	Dapat diterima	Level ideal
> 40 tetes	4000	Buang coolant 50% dan isi air /Antifreeze	Buang coolant 50% dan isi air/antifreeze

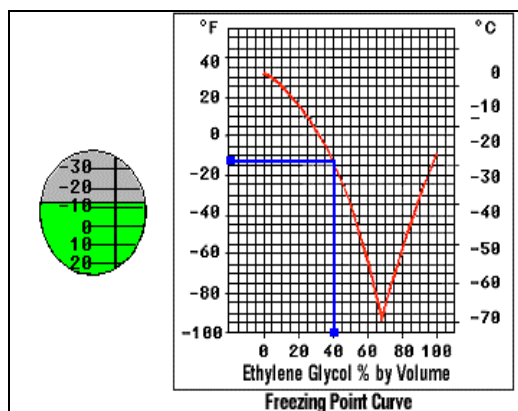
Coolant & Battery Tester

Gambar 2.19. *Coolant & battery tester*

Selain menggunakan metode diatas, konsentrasi *ethylene glycol antifreeze* pada sistem pendingin dapat juga diketahui dengan menggunakan *Caterpillar coolant & battery tester*.

Prosedur pengetesan Konsentrasi Antifreeze Menggunakan Coolant & Battery Tester

Pemakaian alat penguji konsentrasi *coolant* dilakukan dengan membuka penutup dan bersihkan sisi permukaan kaca dimana cairan akan ditempatkan. Teteskan cairan yang akan ditest, lalu tutup kembali, arahkan ke cahaya atau sinar serta pastikan posisinya tepat di atas tester.

Temperatur titik beku akan terbaca pada garis lintang yang membatasi porsi antara terang dan gelap di dalam sisi kaca. Bacalah temperatur pada daerah skala untuk *ethylene glycol*.

Gambar 2.20. Kurva Titik Beku

Untuk menentukan pemakaian konsentrasi *antifreeze* lebih lanjut dari *coolant* tester, dapat diperoleh dari "grafik kurva titik beku" (lihat gambar diatas).

- Masukkan data hasil pengujian ke dalam grafik temperatur titik beku.
- Temukan dan tarik garis "temperatur" (*freezing point* °F atau °C) sampai memotong garis kurva titik beku yang ada di tengah gambar, kemudian hubungkan dari titik perpotongan tersebut ke garis "konsentrasi *antifreeze*"
- Bacalah nilai (%) konsentrasi *antifreeze*.

2) Sistem pelumasan *engine*

Manfaat Pelumas Secara Umum.

Mengapa diperlukan pelumasan pada mesin?

Jika anda memperhatikan komponen mesin saat ini yang diproduksi dengan presisi oleh pabrik dengan teknologi tinggi, mesin-mesin tersebut tampak sangat halus dan tanpa cacat. Tetapi jika kita lihat dengan mikroskop, permukaan yang paling mulus ternyata mempunyai bagian-bagian bergerigi dan ujung-ujung yang mempunyai bentuk tidak beraturan.

Jika dua bagian bergerak, yang memiliki permukaan-permukaan tidak rata tersebut, saling bertemu satu sama lain, maka akan menjadi panas dan memuai. Saat pergerakan berlanjut bagian yang panas menggores logam dan saling menggerus. Kadang-kadang bagian tersebut menjadi tersangkut dan tidak bisa bergerak. Mesin menjadi macet. Gaya yang menyebabkan bagian bergerak bertemu satu sama lain dan menjadi panas, memuai serta aus disebut dengan gesekan.

Gesekan

Gesekan didefinisikan sebagai perlawanan terhadap gerakan antara dua benda yang bersinggungan satu sama lain. Setiap kali ada dua benda bergerak terjadi gesekan. Besarnya gesekan tergantung pada komposisi bagian-bagian, kehalusan permukaan, besarnya gerakan dan besarnya tekanan yang menggerakkan keduanya. Catat bahwa pada mesin pembakaran tekanan bantalan poros kadang-kadang sebesar 1.000 pound atau 450 kg. Perlu diperhatikan bahwa setiap gesekan mengakibatkan keausan. Selain itu gesekan juga menimbulkan panas. Sebagaimana dua buah ranting yang jika saling digesekkan akan menimbulkan nyala api, dua komponen mesin yang bergerak dapat menimbulkan panas yang sangat besar, kadang-kadang dapat mengakibatkan bantalan poros menjadi leleh.

Ada dua macam gesekan. Jenis pertama yang disebut pada paragraf pertama bab ini disebut sebagai gesekan kering, karena tidak ada

bahan yang berada di antara kedua benda bergerak. Jenis yang ada pada mesin otomotif adalah gesekan basah. Gesekan basah terjadi di antara dua benda bergerak yang permukaanya telah dilapisi dengan suatu bahan. Pada mesin otomotif, bahan tersebut adalah minyak pelumas.

Minyak pelumas

Kegunaan utama minyak pelumas atau oli pada mesin adalah untuk pelumasan bagian-bagian yang bergerak untuk mengurangi gesekan. Oli juga mempunyai kegunaan yang lain. Pertama untuk membantu pendinginan komponen. Alirannya yang teratur pada sistem pelumasan membuatnya menyentuh berbagai bagian yang bergerak. Masing-masing bagian tersebut mengalami gesekan yang menjadikannya panas. Oli menyerap panas pada komponen-komponen tersebut. Selain mendinginkan oli juga berperan sebagai bahan penyekat. Misalnya pada ring torak oli berfungsi sebagai penyekat akhir. Karena bahan pembersih yang terkandung pada oli, oli juga membersihkan mesin dengan melepaskan karbon dan kotoran-kotoran lainnya.
Sistem pelumasan berfungsi untuk mengurangi keausan, panas serta akibat lain dari gesekan alami yang terjadi di antara komponen-komponen bergerak dari mesin.

Filter oli

Minyak pelumas setelah dipompa kemudian disaring lewat filter oli. Minyak pelumas mengalir melalui filter dan kemudian mengalir untuk melumasi mesin. Ini yang disebut sistem penyaringan aliran penuh *(full-flow filtering system).* Tidak ada minyak pelumas yang mengalir pada mesin tanpa terlebih dahulu disaring. Hal ini untuk menjamin tidak adanya partikel kecil kotoran atau logam terbawa dalam minyak pelumas menuju bagian mesin.

Elemen *filter* dan wadahnya dibuat menjadi satu unit dengan sekat yang terpasang pada titik rakitan *filter* menyentuh blok. Rakitan filter terpasang langsung pada tabung galeri minyak pelumas utama untuk mencegah kebocoran minyak pelumas dari luar maupun kebocoran yang terjadi akibat tekanan. Minyak pelumas dari pompa mengalir menuju *filter* pada bagian luar elemen dan menembus elemen menuju pusat filter kemudian pada galeri utama.

Ada juga *filter* yang memiliki diafragma anti aliran balik *(anti-drainback).* Diafragma ini menahan minyak pelumas atau penuh dengan minyak pelumas jika mesin tidak bekerja. Dengan menahan minyak pelumas untuk siap dialirkan akan mengurangi waktu yang diperlukan bagi minyak pelumas untuk mencapai bantalan poros mesin jika mesin dinyalakan kembali. Diafragma menutup seluruh

lubang masukan *filter* dari dalam. Diafragma dengan mudah akan membuka dengan tekanan pompa minyak pelumas untuk membuka *filter.* Jika pompa berhenti memberikan tekanan, minyak pelumas di dalam filter menekan diafragma sehingga menutup, maka aliran minyak pelumas berhenti.

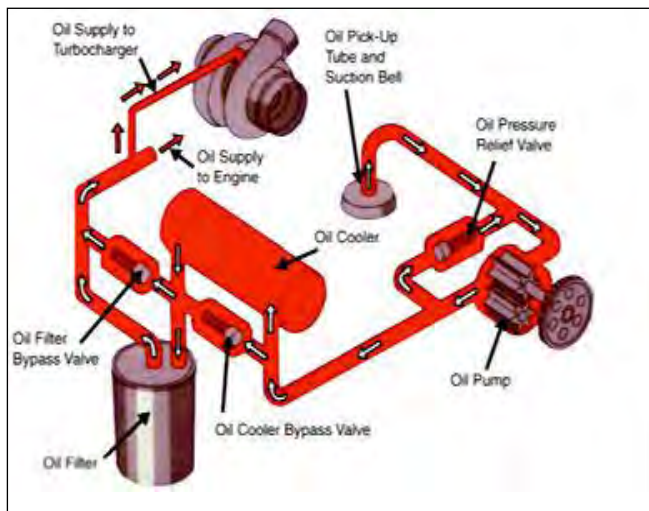
Sistem *filter* minyak pelumas aliran penuh mempunyai sebuah kekurangan. *Filter* yang tidak diganti pada waktunya akan menjadi tersumbat. Elemen yang tersumbat akan mengakibatkan terhambatnya aliran minyak pelumas menuju bantalan poros sehingga bisa menimbulkan kerusakan. Untuk mengatasi kekurangan ini kebanyakan *filter* minyak pelumas memiliki katup *by-pass*. Jika elemen tersumbat, tekanan minyak pelumas akan mengakibatkan katup membuka dan minyak pelumas mengalir tanpa melalui penyaringan dan melumasi mesin. Pada keadaan seperti ini minyak pelumas yang tanpa disaring masih lebih baik daripada tidak ada minyak pelumas sama sekali. Penggantian filter akan menjadikan sistem bekerja kembali secara normal.

Kekentalan minyak pelumas

Agar dapat menjalankan fungsinya, yaitu memisahkan komponen-komponen mesin, mengurangi panas dan menjadi penyekat, maka minyak pelumas harus mempunyai viskositas/sifat kekentalan yang memadai. Viskositas adalah perlawanan cairan terhadap aliran. Atau dengan kata lain merupakan kekentalan minyak pelumas. Viskositas diukur dengan *viscosimeter*. Minyak pelumas dipanaskan dan dialirkan melalui lubang berukuran tertentu. Tingkat aliran yang terjadi menunjukkan tingkat kekentalan. Semakin cepat aliran yang terjadi semakin kecil nilai viskositasnya.

Tingkat viskositas sangat penting. Minyak pelumas yang terlalu kental dan mengalir sangat lambat akan menjadi penyekat yang baik, tetapi tidak memungkinkan bagian-bagian mesin bergerak dengan lancar. Akibatnya mesin akan sulit dinyalakan. Jika minyak pelumas terlalu encer maka tidak dihasilkan pelumasan komponen-komponen yang memadai dan lapisan yang diperlukan untuk mencegah kontak antar komponen menjadi rusak sehingga mengakibatkan keausan. Karena minyak pelumas akan makin encer jika panas dan mengental jika dingin, maka viskositas minyak pelumas mesin menjadi sangat penting. Minyak pelumas harus cukup encer agar mesin dapat dinyalakan dengan cepat dan lancar serta cukup kental untuk menahan temperatur yang tinggi.

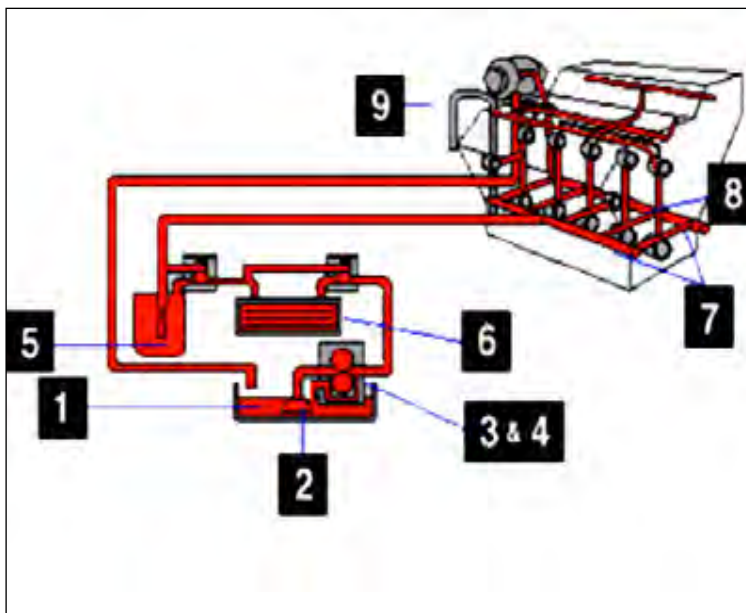
Society of Automotive Engineers (SAE) telah menyusun persyaratan minyak pelumas dalam temperatur tinggi dan rendah. Minyak

pelumas yang memenuhi persyaratan temperatur rendah ditandai dengan huruf “W” sesudah tingkat viskositasnya (SAE 5W). Jika suatu minyak pelumas memenuhi persyaratan temperatur tinggi tidak diberi tambahan huruf, hanya tingkat SAE saja (SAE 30). Ada beberapa minyak pelumas yang multi-viskositas, yaitu memenuhi baik persyaratan SAE untuk temperatur tinggi maupun temperatur rendah. Misalnya SAE 5W-30, 10W-30, dan sebagainya. Minyak pelumas demikian sering disebut dengan minyak pelumas segala cuaca.

Gambar 2.21. Sistem pelumasan

Sistem pelumasan pada *engine diesel* merupakan hal yang penting mengingat tuntutan akan performa yang tinggi dan emisi yang rendah akhir-akhir ini. Sistem pelumasan tidak saja berfungsi untuk menyediakan oli yang bersih pada lokasi yang tepat pada *engine*, tetapi juga oli yang digunakan harus dapat bertahan pada suhu yang tinggi dan waktu penggantian oli yang lebih panjang serta pemakaian oli yang lebih rendah.
Pada buku ini akan dibahas komponen dan cara kerja spesifik untuk sistem pelumasan pada *engine Caterpillar* 3406 sebagai contoh. Umumnya, sistem pelumasan untuk setiap *engine* mirip. Namun ada pula sedikit perbedaan.

Komponen - komponen sistem pelumasan

Sistem pelumas pada engine terdiri dari komponen seperti telihat pada gambar 2.22. Sistem pelumasan adalah suatu rangkaian komponen-komponen yang bekerja untuk mengusahakan suplai oli ke bagian-bagian engine yang memerlukan. Oli yang disuplai tetap stabil dalam jumlah, temperatur, dan tekanan.

Pelumasan yang diperlukan sangat penting baik itu kualitas maupun kuantitas.
Apabila dipelajari secara seksama mengenai supali oli pelumas dalam suatu sistem pada *engine,* terdapat suatu wadah, pemompa, pengontrol, saringan dan instrumen lainnya yang semua bertujuan agar pelumasan yang terjadi pada *engine* dan komponen lainnya yang memerlukan dapat dipastikan berjalan dengan benar sesuai spesifikasi pabrik.

2.22. Komponen Sistem Pelumasan

Keterangan gambar:

1. *Oil pan* atau *sump*
2. *Oil pick-up tube* dan *suction bell*
3. *Oil pump*
4. *Oil pressure relief valve*
5. *Oil cooler* dengan *bypass valve*
6. *Oil filter* dengan *bypass valve*
7. *Oil gallerie* (penyuplai oli ke *engine*)
8. *Piston cooling jet*
9. *Crankcase breather, line* dan *pipe*

Oil pan

Gambar 2.23. *Oil pan*

Oil pan (Gambar 2.23) adalah suatu wadah penampungan untuk oli *engine*. *Oil pan* juga membuang panas dari oli *engine* ke atmosfer dan memiliki *internal baffle* untuk mencegah oli teraduk-aduk. *Oil pan* berada pada bagian bawah *engine*.

Suction bell* dan *inlet screen

Gambar 2.24. *Inlet screen*

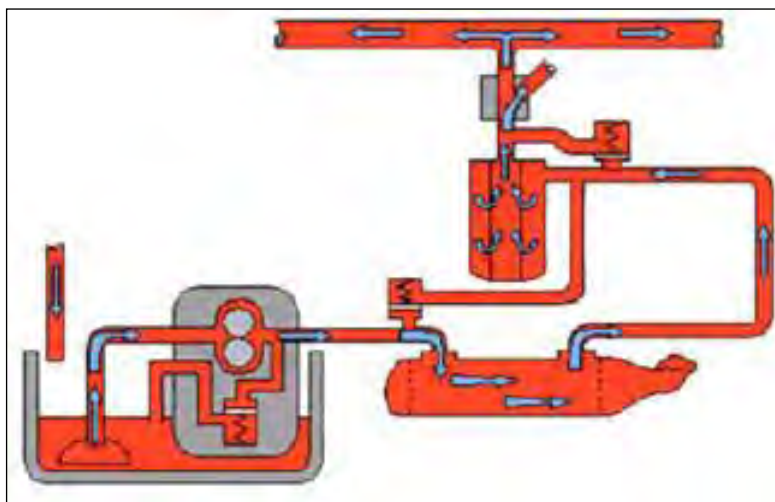
Dari *oil pan*, oli masuk melalui inlet screen menuju *suction bell* (Gambar 2.24). *Inlet screen* mencegah masuknya kotoran-kotoran besar pada sistem. Dari sini oli terhisap menuju ke *oil pump*.

Oil pump

Gambar 2.25. Pompa Oli

Aliran sistem pelumasan dimulai dari pompa yang membuat oli mengalir dari *oil pan* atau *sump* (Gambar 2.25). *Oil pump* terletak di

bagian depan engine yang ditutup dengan *oil pan*. *Oil pump* digerakan dengan gear yang terhubung pada *crankshaft*.

Bypass and Relief Valve

Gambar 2.26. *Bypass and Relief Valve*

Sistem pelumasan menggunakan beberapa *bypass* dan *relief valve* (Gambar 2.26) untuk melindungi engine.
Oil pump (1) menggunakan *pressure relief valve* (2), sedangkan *oil cooler* (3) dan *filter* (4) menggunakan *bypass valve* (5).

Pressure relief valve membatasi tekanan dan *bypass valve* memungkinkan oli mengalir ke komponen sekitar, ketika *filter* sersumbat. *Pressure relief valve* diterangkan secara rinci pada penjelasan berikutnya.

Penjelasan *oil pump*

Oil pump merupakan pompa *positive displacement gear type pump* yang digerakkan oleh *crankshaft gear*.
Gear pump umumnya dapat ditemukan pada *engine Caterpillar*. Pompa ini memiliki dua buah *gear* yang saling bertautan. Satu *gear* sebagai *gear* penggerak sementara *gear* lainnya sebagai *idler*. Kedua *gear* berputar berlawanan dan menampung oli *engine* pada bagian luar gigi-giginya dan meneruskannya ke luar pompa dan seterusnya menuju komponen-komponen sistem pelumasan.

Beberapa *diesel engine* menggunakan *rotor type pump*. Pompa ini memiliki *inner gear* dan *outer gear* yang terpasang satu dengan lainnya.
Engine menggerakkan *inner gear*. Pusat dari *outer gear* adalah *offset* dari *inner gear* dan bebas untuk memutar. Ketika *inner gear* diputar menyebabkan *outer gear* ikut berputar. Oli dialirkan dari dalam

pompa melalui pintu masuk dan dibawa ke ruang antara kedua bagian yang berputar dan kemudian disaluran menuju saluran keluar. Pada sisi saluran *inner gear* dan *outer gear* terhubung satu sama lainnya dan mendorong oli keluar menuju saluran keluar dari pompa.

Oil scavenge pump

Banyak diesel engine dirancang untuk bekerja pada aplikasi yang membutuhkan engine mampu beroperasi di tempat yang curam. *Track type tractor* contohnya, jenis ini digunakan pada aplikasi yang memerlukan engine yang mampu berada pada tempat yang curam sampai horisontal. Dalam memastikan bahwa semua oli engine tidak mengumpul pada ujung bawah dari oil pan atau menjauh dari *suction bell*. Banyak engine juga mempunyai *scavange oil pump*. *Scavange Oil pump* memastikan bahwa oli selalu ada pada *main sump*. Ini memelihara sistem pelumasan engine dari kekurangan oli.

Oil pump relief valve

Oil pump memiliki *relief valve* yang tidak terpisahkan dari pompa yang akan mengatur tekanan kerja maksimum pada sistem. Dengan membatasi tekanan maka akan dapat membantu mengurangi kebocoran sehingga *seal* dapat tahan lama.

Valve akan tetap pada posisi menutup sampai tekanan oli dari pompa naik melebihi tekanan *spring* pada *valve*.

Saat tekanan pada sistem mencapai tekanan maksimum, oli akan mendorong *valve* dan membuka aliran oli kembali ke *oil pan* sehingga tekanan oli tidak terus meningkat. Bila tekanan oli masih terus naik, *plunger* akan bergerak lebih jauh sehingga aliran oli menuju *oil pan* lebih banyak.

Saat oli dalam keadaan dingin, maka oli akan kental atau memiliki visko-sitas yang tinggi dan akan sulit mengalir. Pada saat *engine* di hidupkan pada kondisi dingin, oli akan sulit mengalir dan tekanan akan meningkat dengan cepat yang akan menyebabkan *valve* membuka.

Ketika *relief valve* terbuka, aliran oli kembali menuju sisi tekanan rendah (*inlet*) pompa dan ketika tekanan oli turun sampai dibawah tekanan bukaan valve, valve akan tertutup.

Oil cooler

Dari *oil pump*, oli mengalir menuju *oil cooler,* yang berguna menyerap dan memindahkan panas dari oli. Di dalam housing *oil cooler* terdapat *tube-tube* untuk mengalirkan cairan pendingin *engine* (*coolant*). Proses ini disebut penukaran panas oli *engine* dengan *coolant*. Panas dari oli *engine* masuk melalui elemen pendingin yang memindahkan panas ke *coolant engine.* Pendinginan ini bertujuan untuk mempertahankan kualitas oli pelumas tetap stabil pada saat beban *engine* besar.

Oil cooler bypass valve

Pada saat *engine* dihidupkan dalam kondisi dingin, oli yang dingin akan sulit mengalir melalui *oil cooler*. Untuk mencegah hambatan ini, yang nantinya akan menyebabkan sistem kekurangan oli, pada sistem dipasang *oil cooler bypass valve* yang terdapat pada *oil cooler*. Komponen ini merasakan tekanan oli pada sisi masuk dan sisi keluar *cooler* dan dirancang untuk membuka dan mengalirkan oli tanpa melewati *cooler* saat oli dingin dan kental. Ketika *valve* terbuka, memungkinkan oli tetap mengalir menuju komponen engine yang bergerak tanpa melalui *oil cooler*.

Oil filter

Oli mengalir dari *cooler* menuju ke *oil filter*. *Oil filter* dapat dipasang satu atau lebih tergantung pada rancangan *engine.* Pada *Oil filter base* paling sedikit terdapat satu elemen *filter*. Kebanyakan *engine diesel* menggunakan *filter* oli tipe *spin-on style* yang menyaring aliran secara menyeluruh untuk membuang material asing dari oli *engine*. Umumnya *filter* membutuhkan penggantian setiap 250 jam operasi.

Oil filter by pass valve

Oil filter bypass valve merupakan *directional valve*. Oli *engine* mengalir menuju bagian luar *filter*, melalui *filter* dan kemudian keluar melalui lubang dibagian tengah *filter* dalam kondisi kerja normal. Akan tetapi, elemen *filter* menghambat aliran oli terutama pada saat oli dingin atau *filter* dalam keadaan kotor. Untuk mencegah kerusakan pada elemen dan kemungkinan kekurangan oli menuju sistem, pada *filter base* dipasang *filter bypass valve*.

Bypass valve akan merasakan perbedaan tekanan oli yang melewati *filter* dan akan membuka dan mengalirkan oli menuju sistem tanpa melewati *filter* pada saat tekanan berlebihan. Inilah yang menjadi alasan mengapa prosedur perawatan yang benar menjadi begitu penting. *Filter* yang kotor akan menyebabkan masalah yang serius dikemudian hari.

Oil passage atau galleri

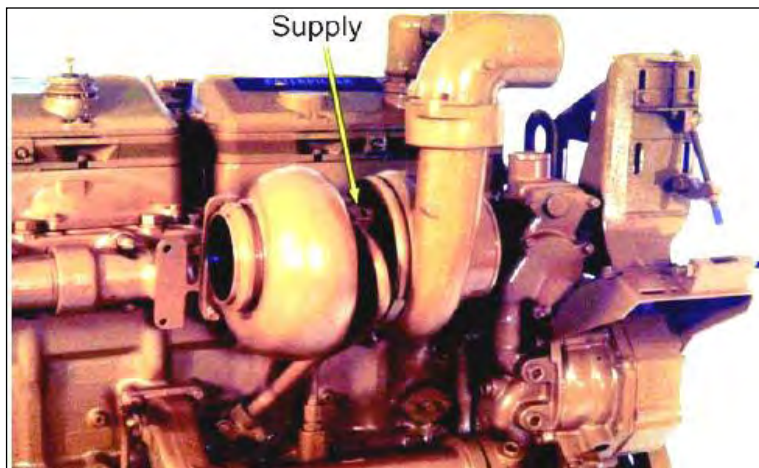
Oli mengalir dari *oil filter* menuju *main oil galleri* yang teletak pada *engine block*.

Pelumasan untuk gear train depan

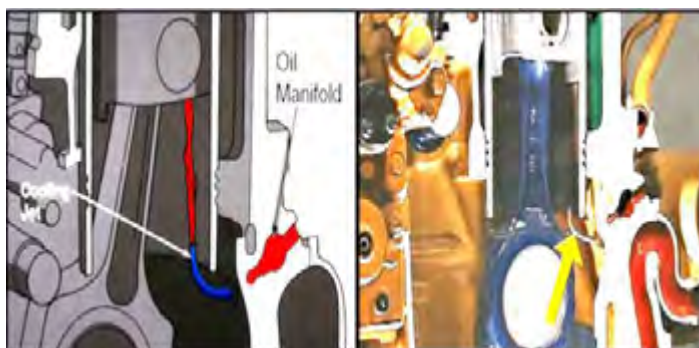
Pelumasan pada *gear train* bagian depan meliputi :

- Oli *supply* untuk *shaft idler gear*
- Oli *supply* untuk *accessori drive*.

Idler gear pada *gear train* depan dan *accessory drive* menerima aliran oli dari saluran oli di bagian dalam yang terhubung dengan saluran oli *cam-shaft* depan.

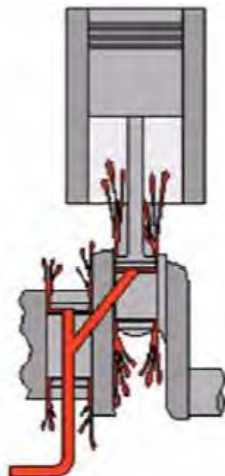
Pelumasan *turbocharger*

Gambar 2.27. Pelumasan *Turbocharger*

Saluran suplai oli untuk *turbocharger* dihubungkan dengan saluran setelah *filter*. Suplai oli yang cukup, dingin, dan bersih merupakan hal yang penting untuk usia *turbocharger*. Karenanya, *turbocharger* menerima oli sebelum oli komponen-komponen *engine* lainya.
Oli mendinginkan dan melumasi *bearing*-*bearing* pada *turbocharger*. Dari *turbocharger*, oli mengalir kembali menuju *oil pan*.
Mematikan *engine* pada konsisi panas atau RPM tinggi karena hal ini harus dihindarkan. Aliran oli yang tidak cukup pada kondisi tersebut akan membuat kerusakan *turbocharger* yang lebih cepat. *Turbocharger* memerlukan oli untuk mendinginkan dan melumasi *bearing*-*bearing*-nya.

Piston cooling jet

Gambar 2.28. *Piston Cooling Jet*

Oli yang bersih dan dingin diteruskan dari *filter* menuju *oil manifold* pada *engine block*. *Piston cooling jet* (Gambar 2.28) dihubungkan dengan *oil manifold* dan menyemprotkan oli ke bagian bawah *piston*

untuk mendinginkan *piston*. Ini membantu piston dingin dengan temperatur yang seragam dan menyediakan usia pakai *piston* akan lebih panjang disamping juga membantu melumasi dinding *Cylinder*.

Pelumasan dinding silinder

Gambar 2.29. Pelumas dinding silinder

Oli mencapai dinding *cylinder* ketika oli terpercik keluar dari *connecting rod* dan juga menyembur menuju bagian bawah piston (Gambar 2.29). Dinding *cylinder* juga dilumasi oleh semburan dari *piston cooling jet*.

Supply oil* menuju *main* dan *camshaft bearing

Masing-masing pasangan dari *main* dan *camshaft bearing* dihubungkan dengan saluran oli yang dibor di *block*. Saluran yang dibor menerima oli melalui pertemuan saluran yang dihubungkan ke *oil manifold*.

Supply oil* menuju *connecting rod bearing

Alur di sekitar bagian dalam pada *main bearing* yang atas menyediakan aliran oli untuk masuk ke saluran oli yang ada di dalam *crankshaft*. Saluran oli yang ada di dalam *crankshaft* menyuplai oli ke *connecting rod bearing.*

Pelumasan *valve lifter*

Alur di sekitar bagian luar dari *camshaft bearing* depan dan belakang menyediakan aliran oli ke depan dan belakang *passage valve*. Masing-Masing *lifter body*, *rooller* dan *lower push rod socket* menerima pelumasan dari saluran -saluran tersebut.

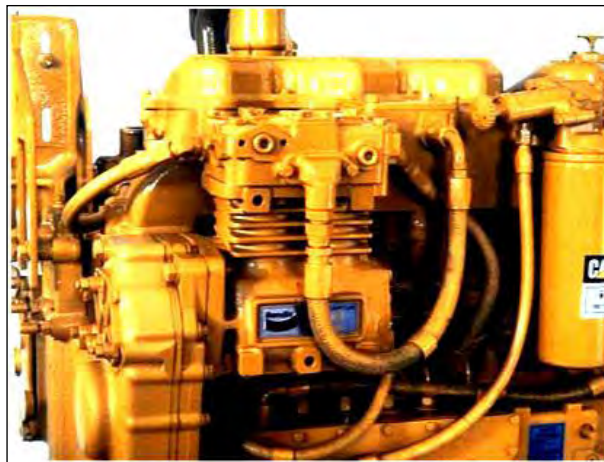
Pelumasan *rocker shaft*

Rocker shaft belakang menerima aliran oli dari saluran oli *valve lifter* belakang. *Rocker shaft* depan menerima aliran oli dari saluran yang terhubung dengan saluran suplai *camshaft* depan.

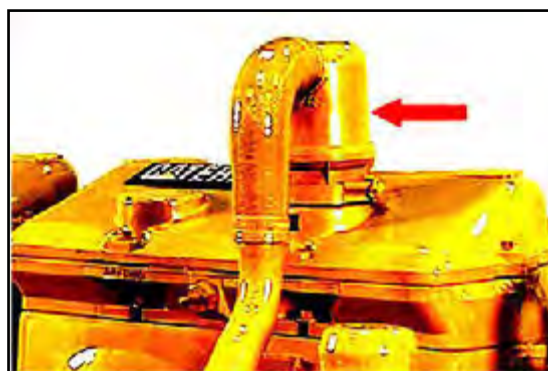
Saluran oli pada *rocker shaft* menyuplai oli untuk *valve train* bagian atas. Saluran ini juga digunakan untuk menyuplai oli menuju *compression brake (Jake Brake),* bila dilengkapi.

Pelumasan sistem bahan bakar

Pada sistem bahan bakar yang menggunakan *pump* & *line*, pompa *fuel*, *governor* dan *hydraulic timing advance unit* menerima aliran oli dari saluran pada sisi *engine block*. Saluran ini terhubung dengan saluran *main bearing* dan saluran *camshaft*.

Pelumasan kompresor udara

Gambar 2.30. Pelumasan *Air Compressor*

Compressor udara (Gambar 2.30) menerima oli dari saluran oli menuju *accessory drive*, melalui saluran pada *timing gear housing* dan *accessory drive gear*.

Crankcase breather

Gambar 2.31. Pernapasan ruang engkol

Crankcase breather (Gambar 2.31) mengalirkan gas pembakaran yang bocor melalui ring piston. *Crankcase breather* menjaga tekanan tetap stabil di dalam *crankcase*. *Crankcase breather* pada umumnya terpasang

pada bagian atas dari engine yang berfungsi untuk menyamakan tekanan di dalam *engine crankcase* dengan tekanan udara luar, dan mengijinkan oli kembali ke *oil pan* dengan mudah

Crankcase breather memerlukan pembersihan tiap 250 jam *engine* beroperasi.

Oli *Engine*

Engine memerlukan oli dengan tipe, kekentalan dan jumlah yang tepat agar dapat beroperasi dengan baik. Oli harus dapat melumasi, membersihkan, mendinginkan dan menyekat komponen *engine* pada kondisi operasi yang berbeda.

Dalam *engine diesel modern*, oli *engine* harus dapat melakukan empat tugas dasar tanpa berdampak negatif pada performa *engine* dan usia pakai *engine*. Fungsi-fungsi oli ini akan dibahas berikut ini.

Sebagai Pelumas

Oli *engine* menghasilkan lapisan tipis sebagai pelindung antara komponen komponen yang bergerak pada *engine*. Lapisan tipis ini (*oil film*) akan mengurangi gesekan, keausan dan panas pada *engine*. Untuk memper-tahankan ketebalan yang tepat dari lapisan *oil fim* ini, *engine* harus bekerja dalam suhu yang benar, pompa oli *engine* harus menghasilkan tekanan yang tepat dan oli harus memiliki viskositas yang benar.

- Sebagai Pendingin

  Pembakaran yang berlangsung pada *engine* menghasilkan panas yang sangat tinggi, khususnya pada *piston*. Oli *engine* merupakan pendingin utama untuk *piston*. Sejumlah panas diserap oleh oli yang berada antara dinding *cylinder* dan *piston* dan oleh oli yang dicipratkan oleh komponen-komponen yang bergerak.

  Sebagai tambahan, sebagian besar *engine* mempunyai *piston cooling jet* yang menyemprotkan oli ke bagian bawah dari *piston,* hanya jika pendinginan yang lebih diperlukan oleh *piston.*

  Beberapa *piston cooling jet* pada *engine* dengan *rate* yang lebih tinggi mempunyai dua *outlet orifice*, pertama langsung pada tengah-tengah bagian bawah dari *crown* dan yang lain langsung pada saluran vertikal di dekat salah satu sisi dari *piston* yang terhubung dengan saluran pendingin sekeliling pada bagian dalam *piston crown*, tertutup oleh bagian belakang *ring piston*. Kedua aliran *piston cooling jet* adalah untuk mendinginkan *piston.* Hal ini merupakan alasan utama mengapa oli engine harus dapat bertahan pada temperatur tinggi tanpa kehilangan sifat melumasinya.

- Sebagai Pembersih
  Pada saat *engine* bekerja akan terjadi kebocoran kompressi atau yang disebut *blowby* yang normal. Juga akan terdapat sejumlah partikel kotoran pada *engine* akibat dari gesekan.
  Oli *engine* dalam hal ini juga bertanggung jawab untuk membawa kotoran atau kontaminan ini dari komponen-komponen yang bergerak, sehingga nantinya kotoran-kotoran ini dapat dipisahkan dari oli oleh *filter*.

  Hal ini sangat penting pada *engine* yang menggunakan *HEUI fuel system*. Pada *engine* ini, oli *engine* diguna-kan juga untuk menggerakkan *injector*. Oli *engine* membantu menjaga agar kontaminan tidak berkumpul pada *engine*.
- Sebagai Penyekat
  Oli *engine* menghasilkan lapisan tipis antara *ring piston* dan dinding *cylinder*. Lapisan ini tidak hanya melumasi, tetapi juga membantu menyekat ruang pembakaran pada *engine* dengan *crankcase*. Ini membantu mencegah kebocoran kompressi (*blowby*).

Kekentalan/*Viscosity*

Kekentalan adalah ukuran dari hambatan cairan untuk mengalir atau ketebalan dari oli pada temperatur tertentu. Aliran sangat berhubungan secara langsung dengan seberapa baik oli menyekat dan melindungi komponen.
Cairan akan mudah mengalir jika mempunyai kekentalan rendah. Kekentalan di dalam oli sangatlah penting karena jika oli menjadi sangat encer (kekentalan rendah pada temperatur tinggi), mengakibatkan bocor pada *seal*, sambungan, bagian dalam pompa, *valve*, dan kebocoran di bagian dalam motor. Terlalu banyak kebocoran dapat berpengaruh terhadap performa sistem.
Kekentalan sebuah cairan dipengaruhi oleh temperatur. Ketika cairan berubah menjadi lebih panas, kekentalan cairan tersebut berubah menjadi lebih encer. Sama halnya ketika cairan dingin, kekentalan bertambah tinggi. Minyak nabati adalah sebuah contoh yang baik bagaimana kekentalan berubah dengan perubahan pada temperatur. Ketika minyak nabati dalam keadaan dingin akan lebih kental dan lambat untuk mengalir, ketika dia dipanaskan, dia menjadi lebih encer dan mengalir lebih lancar.

Viscosity Index

Viscosity index (VI), adalah sebuah ukuran dari perubahan kekentalan sebuah cairan berhubungan dengan perubahan temperatur. Jika konsistensi cairan relatif sama dengan perubahan temperatur, cairan tersebut memiliki *Viscosity index* yang tinggi. Jika sebuah cairan

berubah menjadi kental pada temperatur rendah dan sangat encer pada temperatur tinggi, cairan tersebut memiliki *Viscosity index* yang rendah. Oli yang encer tidak akan menyediakan perlindungan yang cukup untuk mencegah keausan.

Multi-Viscosity Oil

Oli ini telah dirubah secara kimiawi untuk memperpanjang umur pemakaiannya. Oli dengan kekentalan yang lebih rendah, bahan dasarnya ditambahkan dengan *additif* yang mengentalkan oli saat temperatur naik. Hal ini membuat sebuah sistem beroperasi secara baik apakah oli itu dingin atau panas. Ketika kondisi oli memburuk, kekentalan akan kembali ke nilai yang terendah dari *base* oli.

Additif Oli

Oli dasar diproduksi dengan menyaring oli mentah. Oli dasar sendiri tidak dapat menyediakan perlindungan dan pelumasan yang dibutuhkan oleh *engine-engine* modern dengan performa tinggi. Dengan menambahkan *Additif* akan membantu memberikan prioritas kebutuhan yang diperlukan oleh sistem pelumasan. Dalam jangka lama *additif* menurun dan kemampuan oli untuk melumasi akan menurun. Jika anda tidak mengganti oli sesuai *schedule*, oli akan beroksidasi dan endapan kotoran akan terbentuk.

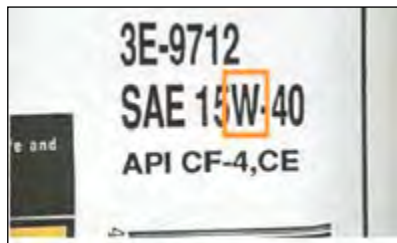
Yang termasuk *additif* adalah:

- *Detergent* untuk menjaga oli tetap bersih
- *Anti-wear agents* mengurangi gesekan
- *Dispersants* menjaga *contaminant* mengendap
- *Alkalinity agents* mengontrol kadar keasaman oli
- *Oxidation inhibitors* mencegah oli dari oksidasi ketika terkena udara
- *Pour point suppressants* menjaga cairan oli pada temperatur rendah dan mencegah pengkristalan seperti lilin pada minyak oli
- *Viscosity improvers* menjaga oli berubah menjadi terlalu encer pada temperatur yang tinggi

Total Base Number atau TBN

Pada umumnya *additif* oli meningkatkan nilai *Total Base Number* atau *TBN*. Ini dihasilkan dengan menambahkan *alkalinity* ke bahan dasar. Semakin banyak *alkaline* pada oli, maka *TBN* lebih tinggi dan semakin banyak asam yang dapat dinetralkan. Asam pada *engine* dihasilkan dari *sulfur* yang terkandung di dalam bahan bakar *engine diesel*. Ketika bahan bakar terbakar, akan menghasilkan asam sulfur yang mengkontaminasi oli. *TBN* dapat membantu menetralkan asam dan melindungi engine dari *korosi* karena asam *sulfur*.

Selama kandungan bahan bakar berbeda, berbeda pula kandungan *sulfur*-nya, jadi penting untuk menggunakan oli dengan *TBN* yang cukup tinggi. Ikutilah petunjuk dari pabrik untuk menentukan tingkat *TBN* yang disyaratkan.

Klasifikasi SAE

Gambar 2.32. Oli pelumas.

US Society of Automotive Engineers telah mengembangkan sebuah sistem klasifikasi untuk menggambarkan kemampuan oli untuk bertahan pada kondisi extrim tanpa mengalami kerusakan. Oli digambarkan sesuai dengan tipe dan kekentalannya.

Tipe oli menggambarkan karakteristik kemampuan seperti halnya kemampuan membersihkan, menghindari pengendapan dan lebih tahan dari kerusakan.

Tipe Oli

Tulisan seperti CE atau CF-4 menandakan tipe oli. Engine yang berbeda memerlukan tipe oli yang berbeda pula seperti ditunjukkan dalam pelumasan, pengoperasian dan petunjuk perawatan untuk peralatan tersebut.

Angka dengan huruf “W” adalah dipertimbangkan untuk oli musim dingin, tanpa huruf “W” adalah oli musim panas. Pada iklim Australia, *multi-grade oil* digunakan dan memasukkan huruf “W”.

Kekentalan/*Viscosity*

Angka yang mengikuti kata *SAE* menandakan nilai kekentalan oli. *Single weight* oli mempunyai satu angka. Semakin kecil angkanya berarti oli encer.

Multy-viscosity oli mempunyai dua angka, angka pertama menandakan *viscosity* ketika oli dingin, angka kedua ketika oli panas.

Unit, dan Tekanan Oli

Oli mengalir melalui *passage*/saluran ke semua bagian yang bergerak, termasuk *valve train*, *injection pump housing, timing advance* perlengkapan komponen yang lain sebelum oli kembali melalui *passage*/saluran atau lubang menuju ke *oil pan*.

Jalur oli, *bearing* dan saluran menghambat aliran oli, dimana akan duhasilkan tekanan oli. Jika terdapat celah *(clearance)* yang berlebihan pada main atau *connecting road bearing*, dapat mengakibatkan penurunan tekanan oli. Pembacaan pada *oil pressure gauge* adalah akibat hambatan aliran oli yang normal. Berikut ini akan dijelaskan sebagai contoh pengembangan oli pada salah satu merk alat berat.

Pengembangan Oli pada *Caterpillar*

Oli pelumas yang digunakan pada *engine diesel Caterpillar* pertama, diperkenalkan tahun 1931, adalah oli mineral. Saat *engine* mulai mengalami *ring sticking* (melekat) dan terjadi goresan pada *cylinder liner*, mulai terlihat bahwa diperlukan oli yang lebih effektif. Pada tahun 1935, *additif* oli pertama dikembangkan dengan usaha kerja sama antara beberapa perusahaan oli di Amerika dan *Caterpillar*.

Performa standar untuk ini dan oli selanjutnya ditetapkan dengan tes yang dilakukan pada *engine* dengan *cylinder* tunggal yang dirancang oleh *Caterpillar* khusus untuk keperluan pengujian oli. Oli *crankcase* pertama kali ini diberi nama "*Superior Lubricants for Caterpillar Engine*" dan dijual hanya oleh *dealer Caterpillar*.

Pengujian selanjutnya, dilakukan oleh pembuat *engine*, diperlukan yaitu dengan membongkar *engine cylinder* tunggal tadi setelah *engine* tadi bekerja selama kurun waktu, beban dan kecepatan putaran tertentu. *Piston* diperiksa dan perubahan warna yang disebabkan oleh panas karena gesekan diamati dan dicatat. Faktor kritis lain seperti keausan *ring* dan endapan diukur. Tahun 1958, *Caterpillar* menetapkan klasifikasi Seri-3.

Tahun 1970, dimana API (*American Petroleum Institute*) mengakui perlu-nya merevisi sistem klasifikasi. *API*, *SAE* dan *ASTM* bekerja sama dalam usaha ini. Sistem baru mereka berdasarkan jenis yang sama dengan performa spesifikasi yang telah digunakan oleh *Caterpillar* dan pembuat *engine* lainnya.

Caterpillar dapat mengeluarkan sistem klasifikasi pada tahun 1972. Sistem *API*/*SAE* yang baru menetapkan susunan huruf seperti *CC*, *CD* dan lainnya untuk klasifikasi oli. Ini mengacu pada tingkat performa dalam pengujian. Daftar semua merek yang berdasar pada klasifikasi *API* terdapat pada ***Engine Manufacturers Association Lubricating Oils – Data Book***, tersedia di *dealer Caterpillar*, *form number SEBU5939*.

Caterpillar menyarankan agar melakukan *SOS Fluid Sampling* (pengambilan contoh oli), suatu layanan yang ditawarkan oleh *dealer Caterpillar*. Analisa *engine* oli dapat menunjukkan adanya partikel besi akibat keausan yang dapat menunjukkan adanya serangan asam atau keausan lainnya yang tidak normal. Sebelum mengambil contoh oli, hidupkan *engine* sampai mencapai suhu kerja normal. *Valve* untuk mengambil oli dan *adapter*-nya telah tersedia pada *engine*. Isi botol untuk oli contoh yang baru sampai kira-kira 75%. Bila contoh oli diambil dari lubang pembuangan oli, jangan ambil oli pada saat awal atau akhir oli keluar. Berhati-hatilah pada saat mengambil oli untuk

mencegah luka bakar akibat oli yang masih panas. Isi label botolnya dengan lengkap dan benar.
Pastikan nomor seri *engine*, jarak tempuh atau waktu penggunaan oli dan nomor unit tercantum pada label.

Scheduled Oil Sampling

Gambar 2.33. Bahan analisis oli

Pada materi ini akan menguraikan secara singkat tentang tujuan dan memberi suatu gambaran dari program oli *analysis Caterpillar*. Bagian yang terpenting adalah metoda pengambilan sampel yang akan dibahas selanjutnya. Sampel yang baik, adalah sample yang tidak dicemari oleh faktor luar, hal ini sangatlah penting untuk mendapatkan hasil yang akurat dan sangat menentukan kesuksesan dari program. "*SOS*" adalah singkatan dari *Schedule Oil Sampling*.

Analisa oli dan *coolant*
Walaupun program telah berkembang meliputi *coolant engine*, adalah penting mempertahankan singkatan *SOS* tetap dipergunakan dan oleh karena eklusif dipergunakan oleh *Caterpillar* sendiri.
Dealer-dealer Caterpillar Australia menghadirkan 8% dari bisnis di seluruh dunia dan 60% dari semua sampel adalah dari mesin *Caterpillar*. Di Australia, target waktu pengujian sampel adalah 48 jam.

Program schedule oil sampling (SOS)

- Diperkenalkan oleh *Carterpillar* pada tahun 1971
- Diperkenalkan ke Austalia pada tahun 1972
- Sekarang mencapai 146 lab di seluruh dunia
- 4.9 juta sampel per tahun

Banyak laboratorium yang kompetitif dapat menganalisa oli tetapi satu keuntungan yang paling penting dari program *Caterpillar* adalah

keahlian penafsiran yang mana telah dikembangkan pada peralatan *Caterpillar*.

Analisa Oli Bukanlah Memanjangkan Umur

Program *SOS Caterpillar* adalah analisa peralatan, bukan memanjangkan umur oli. Program *Caterpillar* dirancang untuk memaksimalkan umur peralatan sedangkan kebanyakan program analisa oli kompetitor lebih memusatkan pada sebuah makna untuk memanjangkan interval penggantian oli. Jika pemahaman ini berkembang pada analisa yang kualitasnya tidak terjamin, praktek ini dapat menjadi gangguan yang serius .

Pemantauan kondisi *(condition monitoring)*

Contoh dari pemantauan kondis adalah:

- Pemeriksaan rutin
- Tanggapan operator
- Analisa getaran
- *Onboard Monitoring Sistems* (*VIMS*)
- *SOS Fluids Analysis*.

Program *SOS* adalah bagian dari program pemantauan kondisi (*Condition monitoring*) mesin secara keseluruhan. Ini perlu untuk digunakan bersama dengan indikator kondisi yang lain. Sebagian dari aktivitas *Condition Monitoring* ini sudah diuraikan di atas. Mereka akan berperan dalam memaksimalkan umur peralatan dengan pembuatan keputusan perbaikan yang benar pada waktu yang tepat, yang didasarkan pada indikasi - indikasi yang ada.

Manfaat dari *Condition Monitoring*

Keuntungan-Keuntungan *condition monitoring* adalah:

- Mendeteksi permasalahan lebih awal sehingga problem kecil dapat diatasi sebelum menjadi permasalahan besar.
- Monitor "*positives*" seperti halnya "*negatives*" sehingga uang tidak disia-siakan untuk penggantian oli lebih awal atau untuk perbaikan komponen yang tidak diperlukan.
- Program *SOS* dapat berperan untuk memendekkan waktu *troubleshooting* sebab *SOS* membantu *serviceman* untuk langsung kepada sumber masalah.
- Penjadwalan diperbaiki karena komponen dan tenaga kerja dapat dijadwalkan sebelum perbaikan mengacu pada *SOS trend*.
- Memungkinkan waktu pemeliharaan termonitor dan informasi penting mesin dapat dikumpulkan.
- *SOS* dapat membantu para pemakai untuk membuat keputusan pengelolan unir-unitnya sesuai dengan kondisi yang diperoleh.Ini menjadi penting ketika pemakai memiliki suatu rencana seperti menunda suatu perbaikan.

- *SOS* yang lengkap dan sejarah unit akan meningkatkan nilai penjualan kembali dari suatu mesin karena dapat menjadi suatu bukti dari proses pemeliharaan yang teratur .
- Walaupun ada sejumlah faktor yang dianggap penting oleh pemilik peralatan, program *SOS* akan menyediakan suatu manfaat untuk dua diantara faktor pokok.
- Rendahnya keseluruhan biaya karena biaya perbaikan dan pemeliharaan yang minimal.
- Produktivitas yang maksimum dari mechanichal *availabiliti* tinggi

Keterbatasan oil sampling

- Tidak akan meramalkan keretakan.
- Kurang akurat ketika *filter* sentrifugal dipergunakan.

Saringan sentrifugal digunakan pada beberapa *engine*. Seperti namanya, *filter* ini menggunakan tekanan oli *bypass* dari sistem utama, menyebabkan "*filter canister*" berputar pada kecepatan yang sangat tinggi. Hasil dari gaya sentrifugal yang terjadi, material padat yang ada di dalam oli akan dilemparkan ke luar dari *canister* kemudian mengumpul dan mengeras.

Dimana oli sampling dapat diterapkan ?

Di dalam kompartemen yang berisi oli.

SOS dapat diambil dari oli yang berada pada kompartemen mesin seperti:

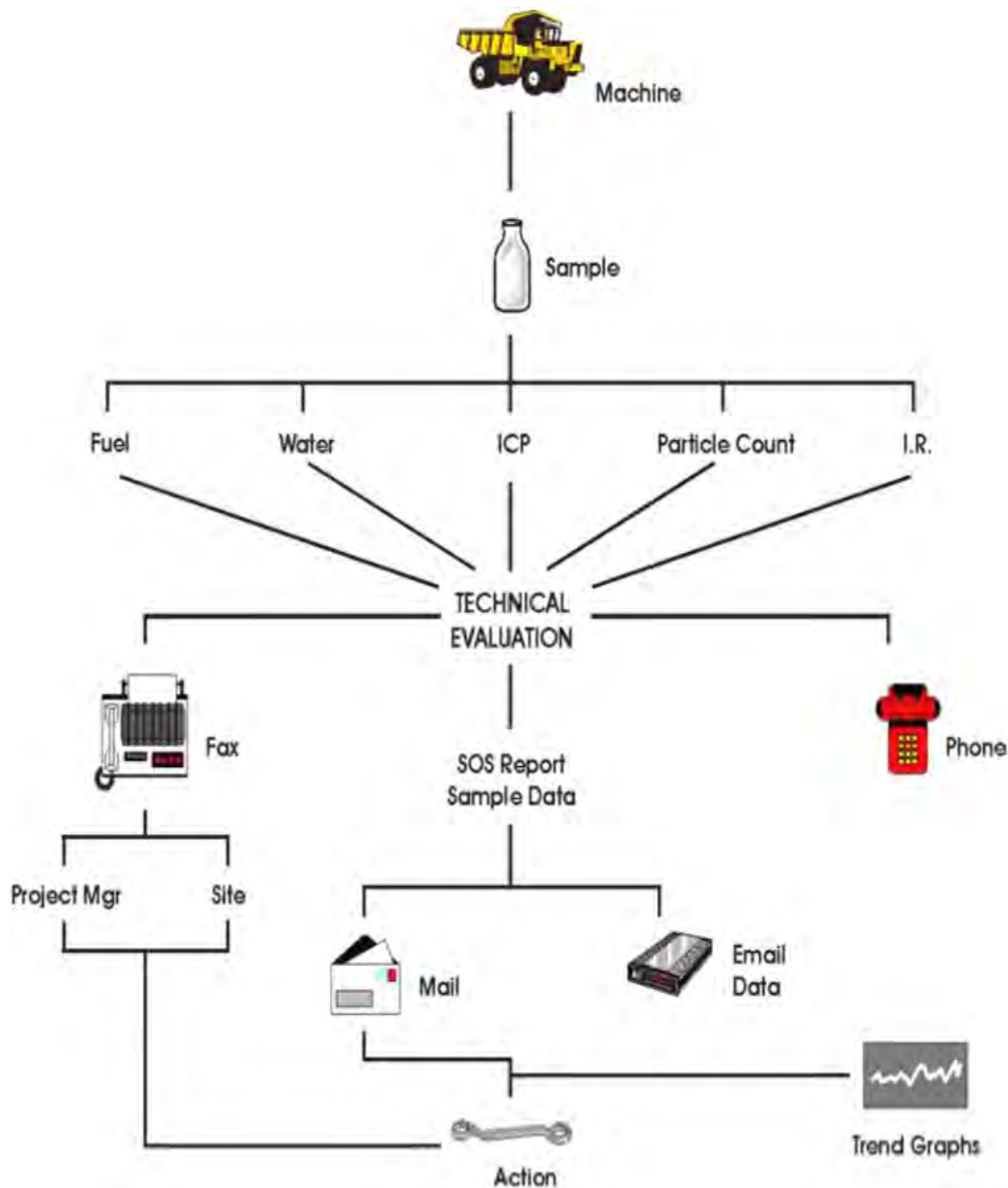
Program SOS

• *Engine*	• Dari engine bensin, gas atau diesel yang tetap
• *Transmissi*	• Permesinan Pabrik
• Sistem *Hidraulic*	• Aplikasi Power generation
• Roda Depan	• Pesawat terbang
• *Rear axle housing*	• Kapal

Program *SOS* meliputi teknik analisa yang terdiri dari :

- Analisa Keausan Logam
- Ini merupakan analisa oli untuk mengidentifikasi persentase dari partikel kecil yang umumnya dihasilkan dari suatu sistem. Partikel ini cukup kecil sehingga menerobos melalui sebuah *filter* biasa.
- Analisa kondisi oli
- Analisa ini diharapkan untuk mengukur tingkat penurunan kualitas oli karena pemakaian
- Analisa fisik

- Terdiri dari pemeriksaan secara fisik unsur-unsur yang mana merusak kualitas oli.

SOS Process

Gambar 2.34. Proses *SOS*

Gambar di atas (gambar 2.34) memperlihatkan suatu bagan dari keseluruhan proses. Suatu contoh mesin diambil, diteliti, dan sebuah

laporan dihasilkan dan dikirim kepada seorang kontak operator. Fax atau telepon digunakan untuk hal yang mendesak dan keperluan mendesak untuk bertindak dan pos atau e-mail digunakan untuk hasil normal.

Pengambilan sample (sampling)

Gambar 2.35. Pengambilan sampel oli

Sampling adalah suatu bagian yang kritikal dari kesuksesan proses. Program *SOS* tidak akan berjalan tanpa sebuah sampel yang mewakili kondisi oli di dalam kompartemen atau diikuti dengan label yang tidak lengkap dan salah.

Sekarang ini, ada dua cara pengambilan sebuah sample untuk analisa *SOS* yang baik, yaitu:

- *Sample valve* (*live sample point*)
- Menggunakan sebuah *vacuum pump*.

Metoda dengan *sample valve* lebih baik walaupun hanya dapat digunakan ketika suatu *valve* telah terpasang di sistem. Hanya oli sistem yang diberi tekanan dapat terpasang *sampling valve*. Di dalam kasus yang lain sebuah *vacuum pump* diperlukan

Label sampel

Label harus meliputi informasi di bawah ini:

- Nama *customer*
- Model mesin
- *Serial number*

- Identifikasi kompartment
- *Merk* dan tipe oli
- Apakah oli diganti
- Usia pakai oli.

Isi label dengan tepat. Tidak dibenarkan untuk menulis informasi pada botol karena lab tidak menggunakannya. Label yang benar seharusnya bersama dengan sample oli yang tepat.

Masalah *Sampling*

Gambar 2.36. Pengambilan sampel

Jangan mengambil oli sample dari:

- Saluran oli *drain*
- Tanki penampung oli drain
- *Filter* bekas

Sampel dapat terkontaminasi ketika adanya :

- Kotoran dari saluran *drain*
- Kotoran dalam pipa *sample*
- Kotoran dalam *gun sample*
- Kotoran masuk ke dalam botol.

Cegahlah masalah dengan menggunakan selang baru untuk setiap sampel. Jagalah *vacuum pump* ditutupi ketika tidak digunakan. Jaga botol tertutup. Ingat, hasil sample dalam PPM.

Problem sampel yang lain disebabkan ketika:

- Partikel dan logam yang mengendap
- Sampel mengandung endapan
- Botol diisi terlalu penuh

Cegahlah masalah dengan mengambil sampel ketika oli panas menggunakan teknik yang benar (sebagai contoh hidupkan mesin mencapai temperatur kerja sebelum pengambilan sampel). Hal ini akan menjaga semua partikel yang ada di oli tercampur
Sediakan sedikit rongga udara di dalam botol sebagai rongga pengembangan ketika sampel dikirim melalui pesawat udara.

Kebutuhan Khusus Untuk Analisa Oli dan *Coolant*

Gambar 2.37.Analisa oli dan *coolant*

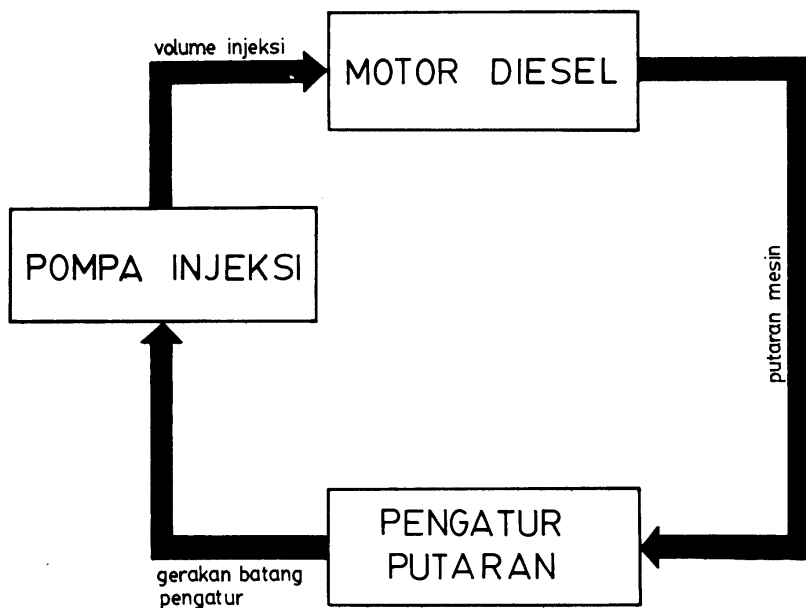
Gunakan pompa yang terpisah untuk oli sampel dan *coolant sample*. *Coolant sample* dianalisa di dalam laboratorium *SOS*.
Penggunaaan pompa yang terpisah karena uap dari *glycol* dapat masuk ke dalam sampel oli.

Peralatan Analisa Oli

Tabel 7. *Fluid Analysis Product*

Product	Code
Cap & Probe	177-9343
Probe Holder	162-8873
Vacuum Pump	1U-5718
Purging Probe	8T-9208
Tube Cutter (Replacement Blades)	1U-8589
Sealed Cap	8C-8456

3). Sistem bahan bakar

Pada motor Diesel yang dihisap *hanya udara saja*, isi silinder selalu *dalam keadaan maksimum*. Putaran mesin dan gaya mesin hanya diregulasi dengan volume bahan bakar yang diinjeksi.
Dengan pengatur putaran biasanya diregulasi putaran idle dan putaran maksimum. Pengatur putaran *(Governor)* yang bekerja tergantung dari putaran mesin disebut *Governor Sentrifugal* atau *Governor* Mekanis sedangkan yang bekerja berdasarkan kevakuman dinamakan Governor vakum atau *Goveernor Pneomatic*

Gambar 2.38. Bahan bakar dan mesin disel

Mesin disel yang menjadi penggerak mula yang digunakan pada alat berat, sangat berhungan erat dengan kesiapan dan supali sistem bahan bakar yang dikembangkan pada alat berat tersebut. Berikut ini akan dijelaskan sistem bahan bakar yang digunakan pada salah satu merk alat berat yang cukup populer. Walaupun yang dibahas mencakup sistem bahan bakar disel yang digunakan pada merk alat berat tertentu, namun hal itu berlaku juga pada mesin alat berat secara umum.

Tipe Sistem Bahan Bakar *Engine Diesel (Caterpillar)*
Semakin ketatnya peraturan tentang emisi gas buang di negara-negara maju serta tuntutan efektifitas dan penggunaan bahan bakar yang ekonomis di dunia industri menyebabkan terjadinya perubahan yang signifikan pada jenis *fuel sistem* yang dipergunakan oleh *engine-engine Caterpillar.*

CAT FUEL SYSTEM

- **PUMP & LINES**
- **MUI**
- **EUI / MEUI**
- **HEUI**

Hingga saat ini *fuel sistem* yang dipergunakan *Caterpillar* terdiri dari empat prinsip dasar, yaitu:

- *Pump & Line*
- *Mechanical Unit injector (MUI)*
- *Mechanical actuated Electronic controlled Unit Injector (EUI)*
- *Hydraulically actuated Electronic controlled Unit Injector (HEUI)*

PUMP & LINE

- **SLEEVE METERING**
- **SCROLL TYPE**
- **NEW SCROLL TYPE**
- **PEEC**

Pump and line fuel sistem merupakan konsep dasar perkembangan sistem bahan bakar menuju era elektronik seperti yang banyak dijumpai dewasa ini yang terdiri dari:

- *Sleeve Metering Fuel Injection Pump*
- *Scrool Type Fuel Injection Pump*
- *New Scroll Type Fuel Injection Pump*
- *Programmable Electronic Engine Control (PEEC)*

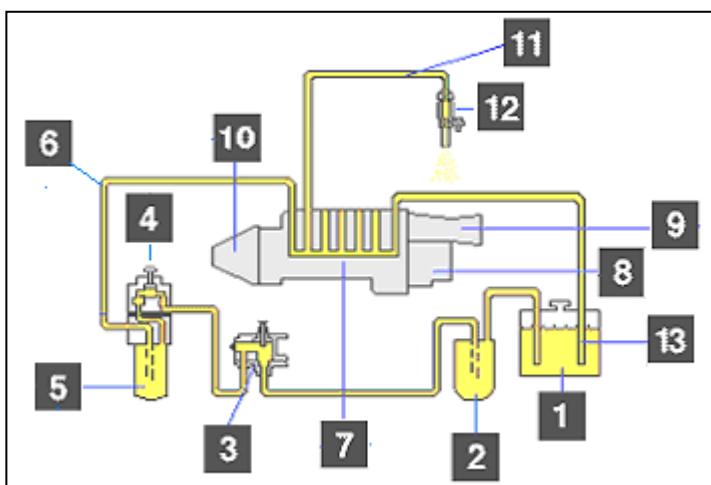
Penjelasan lebih lanjut tentang sistem - sistem diatas secara terperinci akan dibahas pada pelajaran- pelajaran selanjutnya.

Sistem Bahan bakar *Pump & Line (Engine Caterpillar 3406B)*

Engine Caterpillar 3406A diperkenalkan pada tahun 1973. Sejak saat itu sejumlah perubahan telah dibuat untuk memenuhi tuntutan akan *engine* yang lebih handal dan ekonomis serta sesuai dengan peraturan pemerintah.

Untuk memenuhi dan menjawab tuntutan tersebut maka pada tahun 1983 dikeluarkanlah *engine* seri 3406B. Perubahan mendasar pada *engine* ini terletak pada sistem bahan bakar.

New Scroll Fuel Sistem telah diproduksi sejak tahun 1980 pada *engine* seri 3300. Sistem bahan bakar merupakan faktor kunci untuk pengendalian emisi, performa dan bahan bakar yang ekonomis pada *engine* 3406B. Pada tahun 1991, sistem bahan bakar diubah dengan menggunakan *fuel camshaft* yang lebih agresif untuk mengembangkan emisi yang terkendali. Pada tahun 1992, diperkenalkan 3406C. Pada *engine* ini tidak terdapat perubahan pada sistem bahan bakar mekanikalnya.

Komponen – komponen *Pump & line*

Gambar 2.39. Sistem Bahan bakar *Pump & Line*

Pompa dan penyalur bahan bakar terdiri dari:

1. *Fuel tank* (Tangki bahan bakar)
2. *Primary fuel filter* (saringan bahan bakar)
3. *Transfer pump* (pompa bahan bakar)
4. *Hand priming pump*
5. *Final fuel filter*
6. *Low pressure fuel line*
7. *Injection pump* (pompa injeksi)
8. *Governor*
9. *Fuel ratio control*
10. *Timing advance mechanism*
11. *High pressure fuel line*
12. *Nozzle*
13. *Fuel return line*

Aliran bahan bakar

Skematik pada gambar menunjukkan aliran *bahan bakar* pada *pump & line fuel sistem*. Fuel transfer pump menghisap bahan bakar dari Tangki (1) menuju *primary fuel filter* (2). *Primary fuel filter* berfungsi menyaring kotoran yang berukuran besar didalam bahan bakar, disamping itu sering juga ditemui *arrangement engine* yang menggunakan *primary fuel filter* jenis *water separator* sebagai penyaring kotoran yang berukuran besar dan memisahkan air yang terdapat didalam bahan bakar. Bahan bakar kemudian mengalir menuju *fuel transfer pump* (3) dan selanjutnya ke *hand priming pump* (4) kemudian ke *final fuel filter* (5).

Bleed valve berbentuk *orifice* yang akan mengalirkan bahan bakar ke Tangki yang berfungsi membuang udara yang terperangkap dan panas di *fuel manifold* ke tangki. Sistem ini juga menggunakan *manual bleed valve* yang dapat dibuka saat *fuel priming pump* digunakan membuang udara yang terperangkap di sistem bahan bakar. Pada *final fuel fiter* (5) bahan bakar bertekanan rendah disaring lebih teliti dan kemudian mengalir ke *fuel manifold* (*gallery*) pada *fuel injection pump housing* (7). Bahan bakar didalam *fuel manifold* kemudian masuk kedalam rongga pompa tekanan tinggi (*Plunger & barrel*).

Pompa tekanan tinggi akan mengatur jumlah bahan bakar yang akan dipompakan menuju *high pressure fuel line* (11) dan selanjutnya menuju *injection nozzle* (12) dengan tekanan yang sangat tinggi. Pada saat tekanan bahan bakar pada *high pressure fuel line* (11) lebih tinggi dari tekanan pembukaan *nozzle*, bahan bakar diinjeksikan kedalam ruang pembakaran.

Kombinasi antara tekanan yang sangat tinggi dan lubang penginjeksian di *nozzle* menyebabkan bahan bakar mengabut dengan sempurna dan akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Tutup Tangki bahan bakar normalnya selalu mempunyai saluran yang terhubung ke udara luar, apabila saluran ini tersumbat dapat menyebabkan *vakum* didalam Tangki dan sistem bahan bakar tidak bekerja dengan sempurna.

Tangki bahan bakar

Tangki bahan bakar adalah tempat menyimpan bahan bakar, mengendapkan kotoran dan mendinginkan bahan bakar.Tangki bahan bakar tersedia dalam bermacam-macam ukuran. Anda dapat menjumpai tangki bahan bakar yang terletak pada beberapa posisi tergantung pada pemakaiannya.

Gambar 2.40. Tangki Bahan Bakar

Primary fuel filter

Fuel Transfer Pump menghisap bahan bakar dari tangki, melalui *primary fuel filter*. *Primary fuel filter* juga menyaring kotoran kasar yang terdapat di dalam bahan bakar.

Gambar 2.41. *Primary fuel filter*

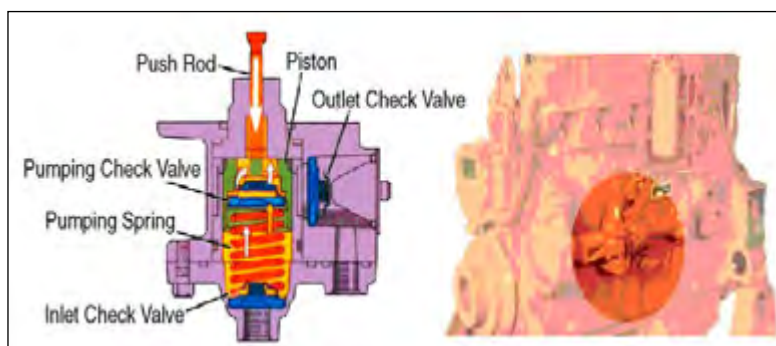
Water Separator

Beberapa sistem bahan bakar juga mempunyai pemisah air (*water separator)*. *Water separator* memungkinkan bila terjadi pengembunan atau air yang terperangkap di sistem untuk dikeluarkan. Air di dalam bahan bakar dapat menyebabkan terjadi kerusakan berat terhadap *engine*.

Gambar 2.42. *Water separator*

Fuel Transfer Pump

Dari *primary fuel filter*, bahan bakar mengalir masuk ke *transfer pump*. *Transfer pump* menyedot bahan bakar melalui bagian hisap yang bertekanan rendah dari sistem bahan bakar.

Pada saat *starter motor* berputar dan ketika *engine* hidup *fuel transfer pump* memberikan bahan bakar. *Fuel transfer pump* terletak dibawah *pump housing* pada *engine 3406 B/C.* Dimana komponen ini digerakkan oleh bagian *eksentrik camshaft* di dalam *housing* dan dapat menyalurkan rata-rata 200 liter (44 galon) *fuel* per jam pada tekanan sebesar 172 KPa (25 psi) pada *engine–engine* tertentu

Gambar 2.43. *Fuel transfer pump*

Fuel transfer pump mengalirkan bahan bakar dari *tank* melalui *primary fuel filter* yang mengalir melalui *low pressure line* pada sistem bahan bakar. Kegunaan yang utama dari *fuel transfer pump* adalah untuk menjaga pasokan bahan bakar yang cukup bersih ke dalam *injection pump*.

Final fuel filter

Bahan bakar yang berada di dalam *transfer pump* dipompakan masuk ke dalam *filter* kedua atau terakhir. Saringan bahan bakar menyaring partikel (kotoran) yang sangat halus yang terdapat di dalam bahan

bakar yang dapat merusak *nozzle* atau menyumbat *injector*. *Filter* terakhir terletak atau terpasang di antara *transfer pump* dan *injection pump housing*. tidak seperti *filter* oli, maka *filter* bahan bakar tidak mempunyai *bypass valve*. Apabila *filter* menjadi buntu, maka aliran bahan bakar berhenti dan *engine* akan mati. Hal ini untuk melindungi *engine* dari bahan bakar yang kotor dan kerusakan komponen-komponen penting pada sistem.

Priming pump

Secara umum *filter* bahan bakar terakhir terpasang bersamaan dengan *priming pump* pada *base*-nya. Anda dapat menggunakan *priming pump* untuk memperlancar pengisian bahan bakar dan untuk membuang udara (*bleeding*) apabila anda telah selesai melepas *pump housing* karena sesuatu perbaikan. Pompa ini juga digunakan untuk memperlancar pengisian bahan bakar pada sistem setelah dilakukan penggantian *fuel filter*.

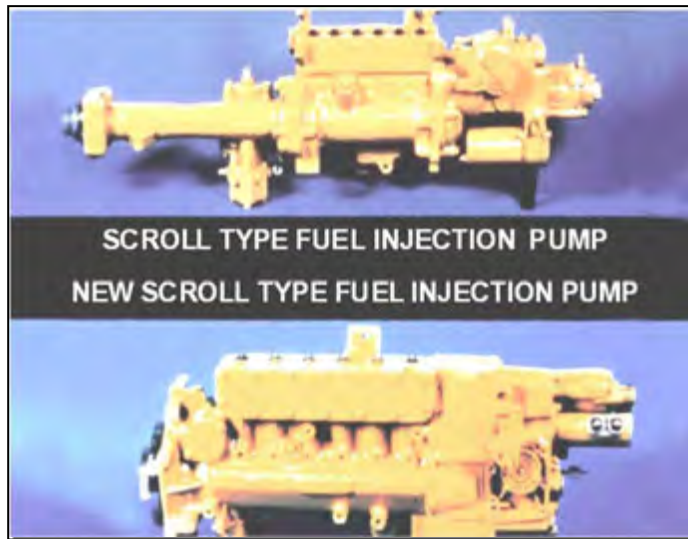
Fuel injection pump group engine 3406

Bahan bakar keluar dari *fuel filter* terakhir lalu mengalir masuk ke dalam saluran di dalam *fuel injection pump housing*. Pada *injection pump housing* bahan bakar akan diatur jumlah dan diberi tekanan untuk disemprotkan keruang bakar. *Injection pump housing* biasanya terletak dekat bagian depan *engine*, karena pompa digerakkan oleh roda gigi dari *camshaft*. *Timing advance unit*, *mechanical governor*, dan *fuel ratio control* dipasang pada rumah pompa.

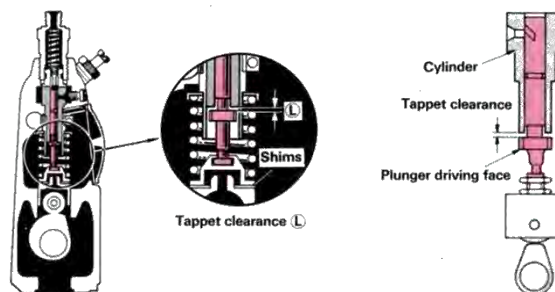
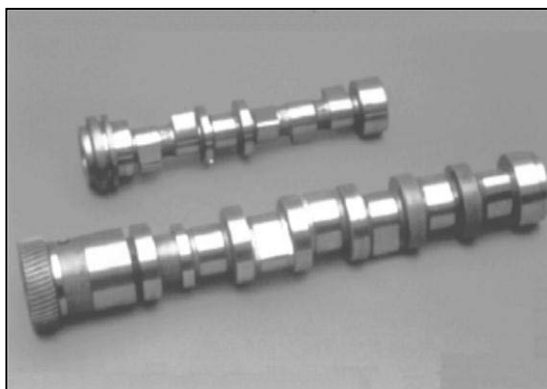
Sistem bahan bakar memberikan bahan bakar yang bersih pada saat yang tepat dan pada jumlah yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan *horsepower* yang diperlukan.

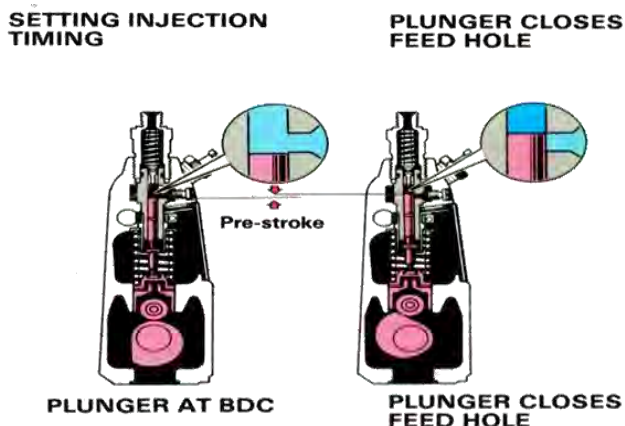
Komponen sistem bahan bakar menyesuaikan jumlah bahan bakar yang diberikan untuk memenuhi kebutuhan *horsepower* dengan mengubah/mengatur jumlah bahan bakar (*fuel delivery*) dan waktu yang tepat untuk diinjeksikan (*injection timing*).

Pada gambar 2.44, bagian atas terlihat *Fuel Injection Pump* untuk *engine* 3406A. Pompa memiliki penggerak yang panjang karena tidak terdapatnya ruangan untuk *pump housing* di bagian bawah air *compressor.*

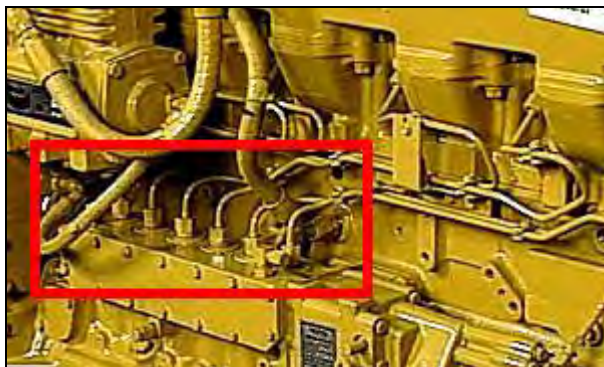
Pada gambar 2.44, bagian bawah terlihat *Fuel Injection Pump* 3406B/C. Lebih pendek tetapi lebih besar. Dengan ukuran 3406B/C yang lebih pendek, memberikan ruangan yang lebih luas untuk perbaikan.

Gambar 2.44. *Fuel Injection Pump Housing*

Jumlah bahan bakar yang dibakar di dalam *engine* berhubungan langsung terhadap jumlah *horsepower* dan *torque* yang diperlukan. Secara umum, bertambah banyak bahan bakar yang diterima *engine*, maka bertambah *torque* yang tersedia pada *flywheel*.

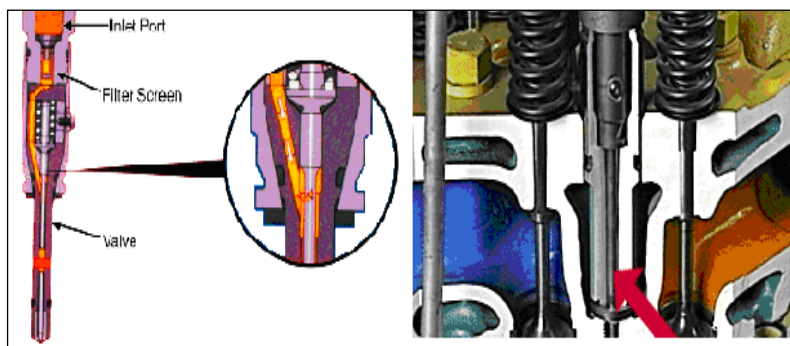
Camshaft Injection Pump

Gambar 2.45. Pompa injeksi

Gambar 2.46. *Camshaft injection pump*

Beberapa perubahan dan perbaikan terdapat pada bagian dalam *engine* sehingga tidak dapat terlihat. Pada gambar diatas terlihat *camshaft injection pump*. Gambar atas adalah *camshaft* 3406A dan gambar bawah adalah *camshaft* 3406B yang lebih besar dan lebih berat dan digerakkan oleh *gear* di ujung sebelah kiri. *Cam* pada *engine* 3406B memiliki konfigurasi berbeda, yakni memiliki karakter lebih cepat mengangkat dan durasinya lebih pendek, hal mana akan meningkatkan tekanan penyemprotan bahan bakar dan mengurangi waktu penyemprotan untuk mendapatkan effisiensi bahan bakar yang lebih bagus. Bagian eksentris pada *camshaft* menggerakkan *fuel transfer pump* berbentuk *piston*. Dengan perubahan untuk emisi pada tahun 1988, *nose* pada *camshaft* di ubah. *Helix* 10^{o} pada bagian depan diubah menjadi 15^{o} dan lubang pada bagian depan diperbesar untuk mengakomodasi *timing advance unit* yang berbeda. Perubahan sehubungan dengan emisi pada tahun 1991 adalah perubahan diameter *bearing* dan bentuk *lobe*-nya saja.

Gambar

2.47. Kerja poros bubungan

High Pressure Fuel Line

Gambar 2.48. *High pressure fuel lines*

Pada sistem yang memakai pompa dan pipa saluran bahan bakar, maka pipa baja saluran bahan bakar yang bertekanan tinggi menghubungkan *injection pump* ke *nozzle*. Bagian yang bertekanan tinggi dari sistem bahan bakar terdiri dari pipa saluran bakar yang bertekanan tinggi dan *nozzle*. Pipa saluran bakar yang bertekanan tinggi mempunyai panjang yang sama untuk menghindari variasi *timing injection*.

Nozzle

Gambar 2.49. *Nozzle*

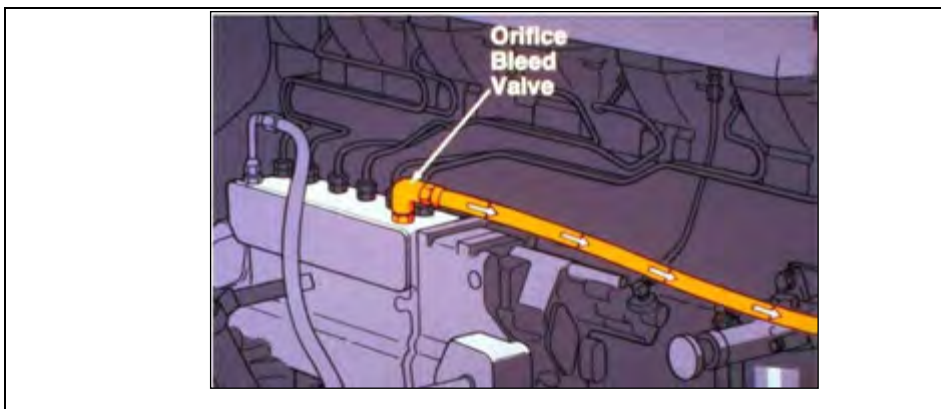
Bahan bakar mengalir melalui pipa bahan bakar yang bertekanan tinggi terus ke *nozzle*. *Nozzle* terpasang di dalam kepala silinder (*cylinder head*). *Nozzle* mempunyai *valve* yang akan terbuka apabila tekanan bahan bakar menjadi cukup tinggi.

Apabila *valve* terbuka, maka bahan bakar akan mengabut dan disemprotkan ke dalam ruang pembakaran.

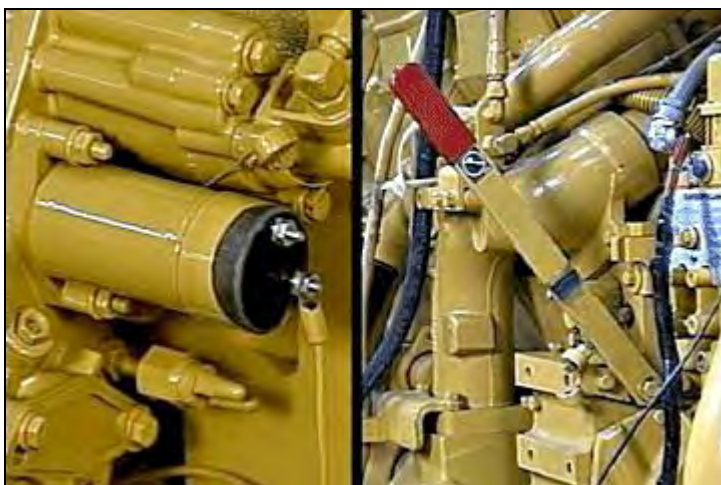
Pada akhir penyemprotan, terjadi penurunan tekanan yang sangat cepat yang membuat *valve* menutup.

Fuel return line

Kebanyakan sistem bahan bakar pada engine diesel digabungkan

dengan *fuel return line*. Akan ada selalu kelebihan bahan bakar yang disalurkan oleh *fuel transfer pump* dibandingkan yang digunakan oleh engine, *return line* mengalirkan kelebihan bahan bakar kembali menuju tank. Kelebihan bahan bakar secara terus-menerus memberikan pendinginan dan pelumasan untuk komponen *fuel injection pump*.

Gambar 2.50. *Return line*

Orifice bleed valve juga dipasang pada bagian ujung manifold. Saluran bagian dalam *fuel manifold* mengirimkan bahan bakar menuju *orifice bleed valve*, rata-rata 10 gallon (40 liter) *fuel* per jam dan seluruh udara yang terdapat dalam sistem akan dikembalikan menuju *supply tank* melalui *valve* ini. Ini akan membantu menurunkan temperatur bahan bakar dan menghilangkan *air bubble* yang akan mengurangi *horsepower*.

Fuel Shut Off

Gambar 2.51. *Fuel Shutoff*

Setiap sistem bahan bakar menggunakan metode *electronic* atau *manual* untuk memutus pasokan bahan bakar.

Sistem bahan bakar *Mechanical actuated unit injector (MUI)*

Dengan adanya peningkatan standar *customer* terhadap *engine diesel* dengan performa dan *standard* emisi gas buang yang bagus, *Caterpillar* memproduksi *engine diesel* dengan proses pembakaran yang lebih sempurna di dalam silinder. Salah satu cara menyempurnakan pembakaran adalah dengan meningkatkan tekanan penginjeksian bahan bakar.

Peningkatan tekanan penginjeksian bahan bakar pada sistem bahan bakar yang menggunakan pompa dan saluran bertekanan tinggi (*pump* & *line fuel sistem*) sangat terbatas untuk bisa dilakukan karena sistem ini masih mempergunakan saluran bertekanan tinggi.

Oleh sebab itu *Caterpillar* menciptakan *Mechanical actuated Unit Injector* yang tidak lagi mempergunakan saluran bertekanan tinggi.

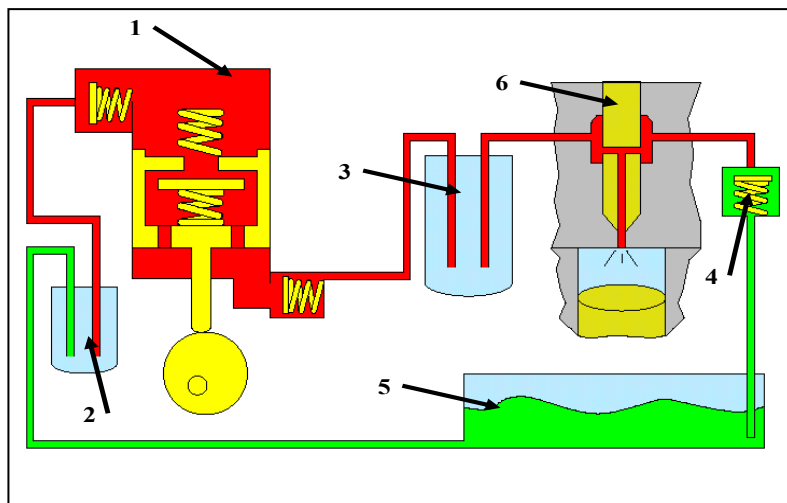
Sistem bahan bakar *Mechanical actuated Unit Injector* memberikan peningkatan performa dan emisi bila dibandingkan dengan sistem bahan bakar yang menggunakan pompa dan saluran bertekanan tinggi (*pump* & *line fuel sistem*). *Caterpillar* menggunakan *mechanical unit injector* pada *engine* kecil seperti 3116/3126 dan *engine* besar seperti seri 3500 dan seri 3600.

Sistem bahan bakar *Mechanical actuated unit injector* memiliki keunggulan yaitu:

- Saluran bertekanan tinggi tidak dipergunakan lagi sehingga tekanan penginjeksian (*injection pressure)* dapat ditingkatkan mencapai 23,000 psi jika dibandingkan dengan *pump* & *line fuel sistem* yang hanya 17,000 psi.
- *Fuel injection pump* dan *injector* tergabung dalam satu unit pada masing-masing silinder sehingga konstruksinya lebih sederhana.

Disamping keunggulannya, sistem ini masih memiliki keterbatasan antara lain:

- Tidak adanya *timing advance* sebagai pengontrol waktu penginjeksian (*injection timing*).
- Walaupun *injector* secara mekanis diaktifkan oleh *rocker arm*, tetapi untuk mengatur jumlah bahan bakar yang disemprotkan masih dikontrol oleh *hydra mechanical governor*.

Prinsip Kerja *Mechanical actuated Unit Injector* (MUI)

Gambar 2.52. Diagram *Mechanical actuated Unit Injector*

Mechanical actuated Unit Injector mengkombinasikan antara *nozzle* dengan *fuel injection pump*. *Fuel transfer pump* (1) menghisap bahan bakar dari Tangki (5) melalui *primary screen* (2) dan mengirimnya ke *Spin ON Secondary fuel filter* (3).

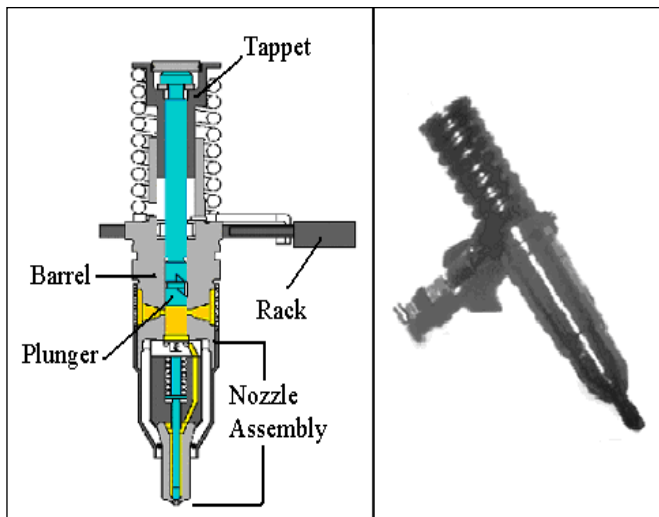
Dari *fuel filter*, bahan bakar mengalir ke saluran yang berada pada *cylinder head*. Saluran ini menghubungkan masing-masing gallery disetiap *unit injector* dan menyediakan aliran bahan bakar yang berkesinambungan menuju *unit injector.*

Bahan bakar yang tidak terpakai pada *cylinder head*, mengalir kembali ke Tangki (5) melalui *pressure regulating valve* (4) yang berupa *orifice* atau *check valve*. *Pressure regulating valve* (4) juga berfungsi mempertahankan pressure tertentu didalam *fuel gallery* dan menjaga supaya *fuel gallery* tetap terisi bahan bakar saat engine mati.

Pengontrolan jumlah bahan bakar yang akan diinjeksikan diatur oleh *mechanical governor* yang terhubung ke masing-masing *injector* melalui *mekanisme linkage*.

Unit Injector

Sistem penyemprotan bahan bakar untuk *engine* ini adalah jenis *Mechanical actuated Unit Injector*. *Fuel injection pump* dan *nozzle* digabung menjadi satu sebagai *injector assembly* untuk setiap *cylinder, s*eluruh saluran bertekanan tinggi dihilangkan. Saluran bahan bakar terdiri dari saluran suplay menuju dan dari *cylinder head*, *fuel filter* dan *fuel transfer pump*. Bahan bakar disuplai ke setiap *injector* melalui saluran di dalam *cylinder head*. Setiap *unit injector* mempunyai *fuel rack* masing-masing, yang diatur oleh *governor*

melalui *control shaft* yang menggerakkan semua *unit injector* secara *simultan* (serempak).

Gambar 2.53. Unit *Injector*

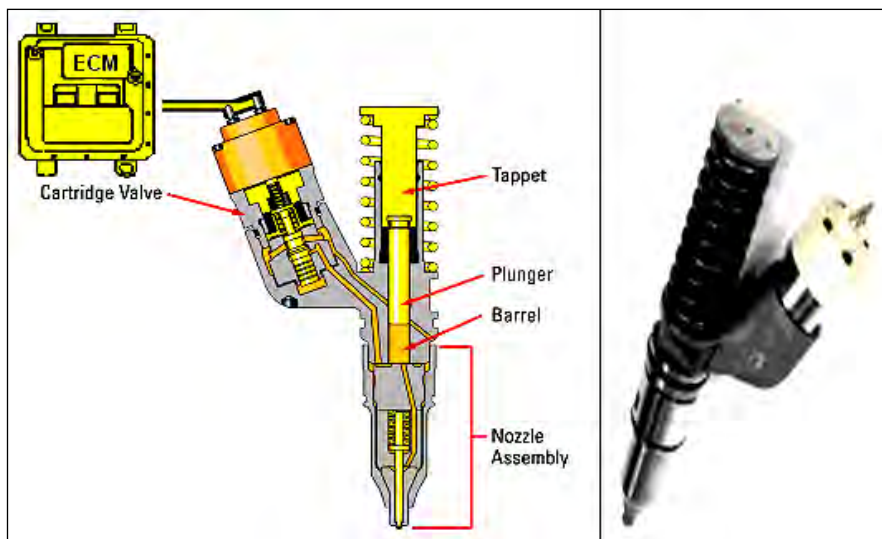
Sambungan besar disisi *injector* merupakan *clamp* penahan. Gambar dibawah *injector* yang dibelah adalah *rack*. Pergerakkannya mengatur putaran *helix* pada *scroll* pada *plunger* yang menentukan jumlah bahan bakar yang akan disemprotkan kedalam *cylinder*. *Unit injector* terdiri dari *scroll-type high pressure plunger* dan *injector nozzle*. Langkah effektif *plunger* selama bahan bakar bertekanan tinggi disemprotkan, diatur oleh posisi *scroll* yang digerakkan oleh *rack* dan *governor*.

Sistem ini pada dasarnya seperti *fuel sistem* tipe *scroll Caterpillar* lainnya, dengan perkecualian pada pompa bertekanan tinggi yang terpisah dan secara *individual* diletakkan disetiap ruang pembakaran sehingga saluran bahan bakar bertekanan tinggi dapat ditiadakan. Langkah *plunger* selalu sama dan ditentukan oleh *cam lobe* dan gerakan *rocker arm*.
Akan tetapi, langkah *piston* juga ditentukan oleh posisi *scroll*. *Plunger* berputar pada sumbunya untuk mengubah posisi *scroll* sehingga dapat memperpanjang atau memperpendek langkah effektifnya (*effective stroke*). Pada saat kedua *port* (lubang) tertutup, maka terjadi penyemprotan.
Tekanan bahan bakar akan membuka *check valve* dan saat tekanan turun, *check valve* pun akan menutup kembali. Bahan bakar yang mengelilingi *injector* dari *o-ring* atas sampai *seal ring* di bagian bawah *nozzle cone*.

Mechanical actuated Electronic Controlled Unit Injector (MEUI/EUI)

Mechanical actuated Electronic controlled Unit Injector (*MEUI*/*EUI*) merupakan langkah maju pengembangan sistem bahan bakar yang terbukti ketangguhan dan kemampuannya.

Sistem *Mechanical actuated Electronic controlled Unit Injector* menggunakan *injector* diatas masing-masing silinder untuk menginjeksikan bahan bakar dan *electronic control module (ECM)* mengontrol jumlah bahan bakar (*fuel delivery*) dan waktu peginjeksian (*injection timing*).

Electronic unit injector menggunakan mekanisme *rocker arm* untuk menekan *tappet* yang dibutuhkan untuk menaikkan tekanan bahan bakar didalam unit *injector*. *Rocker arm* digerakkan secara mekanis oleh *camshaft* dan untuk beberapa jenis *engine* menggunakan perantara *lifter* dan *push rod*.

Gambar 2.54. *Electronic unit injector*

Prinsip kerja sistem bahan bakar *MEUI/EUI*

ECM mengontrol jumlah bahan bakar yang diinjeksikan tergantung pada signal yang dikirim ke electronic unit *injector*. *Mechanical actuated Electronic controlled Unit Injector* (*MEUI*/*EUI*) akan menginjeksikan bahan bakar hanya jika solenoid pada *electronic unit injector* di*energized*.

ECM mengirim tegangan sebesar 90 - 105 VDC ke solenoid untuk meng-*energize solenoid*. Dengan mengontrol saat solenoid di-*energize*, *ECM* dapat mengontrol waktu penginjeksian bahan bakar.

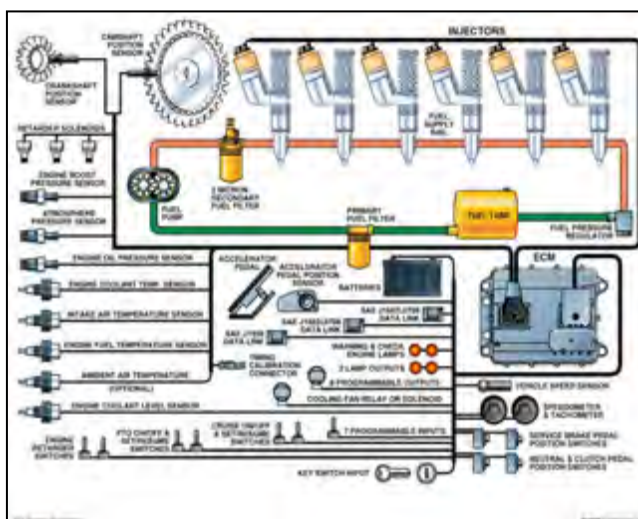
Dengan mengontrol lamanya solenoid di-energize, *ECM* dapat mengontrol jumlah bahan bakar yang diinjeksikan (*injection duration*).
ECM menyetel batas bahan bakar yang dapat diinjeksikan, dengan dua parameter yang selalu dipergunakan yaitu:

- *FRC Fuel POS* merupakan batas berdasarkan kepada *boost pressure* untuk mengontrol jumlah bahan bakar sebagai pengontrol emisi. Pada saat *ECM* merasakan peningkatan *boost pressure*, *ECM* meningkatkan *FRC Fuel POS*.
- *Rated Fuel POS* diasumsikan sama dengan *rack stop* dan *torque spring* pada *mechanical governor*. *Rated Fuel POS* merupakan batas bahan bakar yang diberikan berdasarkan *horsepower rating engine*. *Rated Fuel POS* menyediakan *horsepower* dan *kurva torque* untuk *horsepower* rating tertentu. Batas tersebut diprogram oleh *factory* didalam *Personality Module*.

Saat penginjeksian bahan bakar (*Injection timing*) tergantung pada tiga faktor yaitu:

- *Engine speed (rpm)*
- *Engine load*
- *Parameter-parameter engine.*

ECM menentukan posisi *TDC cylinder* nomor 1 dari signal yang disediakan oleh *crankshaft position sensor*. *Input* ini dipergunakan *ECM* untuk menentukan saat bahan bakar disemprotkan terhadap posisi TDC dan meng-*energize injector* pada saat yang tepat.

Diagram Sistem Bahan Bakar Mechanical actuated Electronic Unit injector (MEUI/EUI)

Gambar 2.55. Diagram sistem bahan bakar *electronic unit injector*

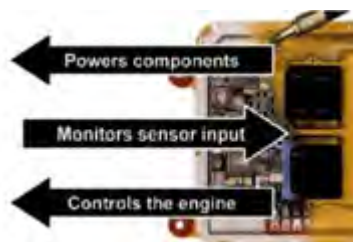
Gambar diatas merupakan komponen diagram *EUI*. Sistem bahan bakar *EUI* menggunakan supply bahan bakar bertekanan rendah dan kemudian menaikkan tekanan injeksi hingga 10,000 sampai 30,000 psi.

Sistem bahan bakar *EUI* merupakan sistem bahan bakar yang dikendalikan secara elektronik. *Injection pump* (pompa injeksi), *fuel line* (saluran bahan bakar) dan *nozzle* yang digunakan pada *engine* mekanikal telah diganti dengan *electronic unit injector* pada setiap *cylinder head*. *Solenoid* pada setiap *injector* mengatur jumlah bahan bakar yang akan disemprotkan oleh *injector*. *Electronic Control Module* (*ECM*) mengirimkan sinyal ke setiap *injector solenoid* yang akan mengatur jumlah bahan bakar yang akan disemprotkan kedalam setiap *cylinder*.

Komponen-komponen utama pada sistem bahan bakar *EUI* termasuk *ECM*, *EUI injector*, *wiring harness*, *sensor* dan *switch*.

Sistem bahan bakar *EUI* juga termasuk juga sistem suplai bahan bakar bertekanan rendah sekitar 25-60 psi yang diatur secara mekanis yang mengalirkan bahan bakar menuju *injector*. Sistem bahan bakar tekanan rendah terdiri atas *fuel tank* (tangki bahan bakar), *fuel transfer pump*, *primary* dan *secondary fuel filter* dan *fuel pressure regulator*.

Gambar 2.56. ECM Pada *Engine* 3406E

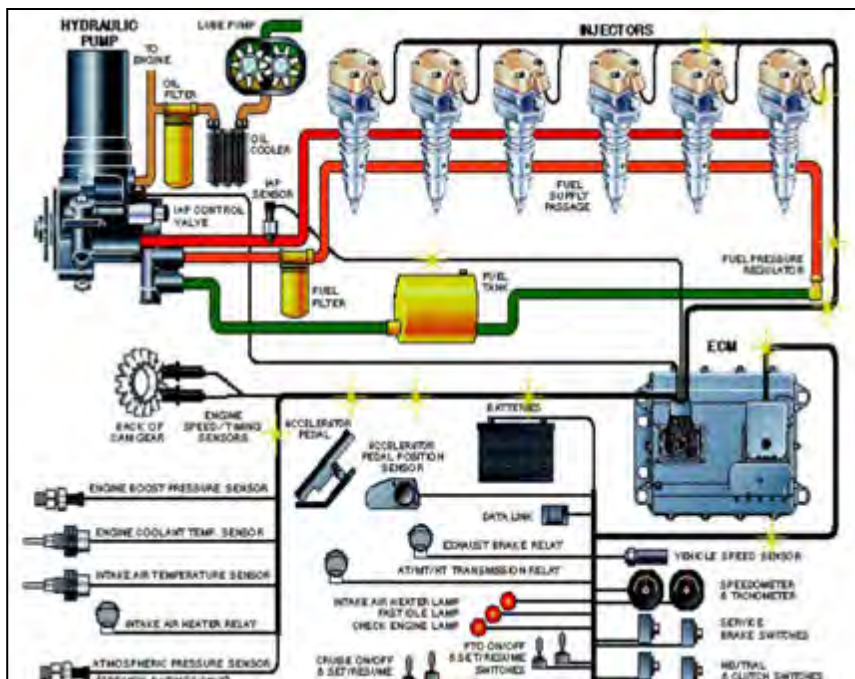
Otak pada *engine* elektronik adalah *ECM*. *ECM* berfungsi sebagai *governor* dan komputer sistem bahan bakar. *ECM* menerima semua sinyal dari *sensor*-*sensor* dan mengirimkan arus ke *solenoid* untuk mengatur *timing* dan *engine speed*.

Gambar 2.57. Fungsi ECM

ECM memiliki tiga fungsi dasar:

- Memberi tegangan untuk bekerjanya komponen-komponen seperti *sensor* dan *injector*.
- Memantau *sensor* - *sensor* dan *switch*
- Mengatur *engine speed* dan tenaga

Hydraulically actuated Electronic controlled Unit Injector (HEUI)

Sistem bahan bakar *Hydraulic Electronic Unit Injector* (*HEUI*) diperkenalkan pada *engine Caterpillar* 3126 pada tahun 1995 dan kemudian digunakan pada *engine* 3408E/3412E dan C-9 untuk meningkatkan *fleksibilitas* dalam pengaturan *fuel delivery*.

Engine Caterpillar EUI dan *HEUI* memiliki rancangan sistem elektronik yang mirip untuk tujuan diagnostik. Pada modul ini akan difokuskan pada sistem aktuasi injeksi hidrolik dan *injector* pada *engine HEUI*.

Gambar 2.58. Sistem Bahan bakar HEUI (*Engine* 3126B)

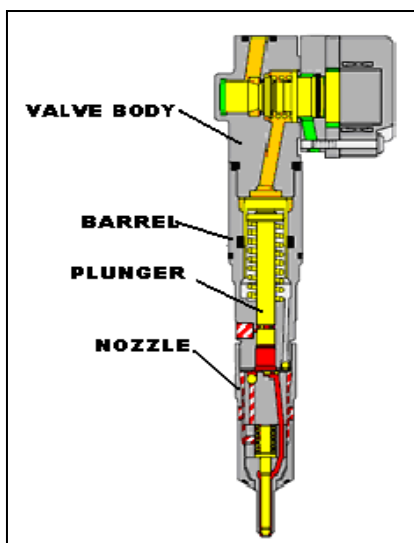
Sistem bahan bakar *HEUI Caterpillar* merupakan sistem bahan bakar yang diatur secara elektronik. *Injection pump*, saluran bahan bakar dan *nozzle* yang digunakan pada *engine* mekanikal digantikan dengan *hydraulic unit injector* pada set*iap cylinder*.

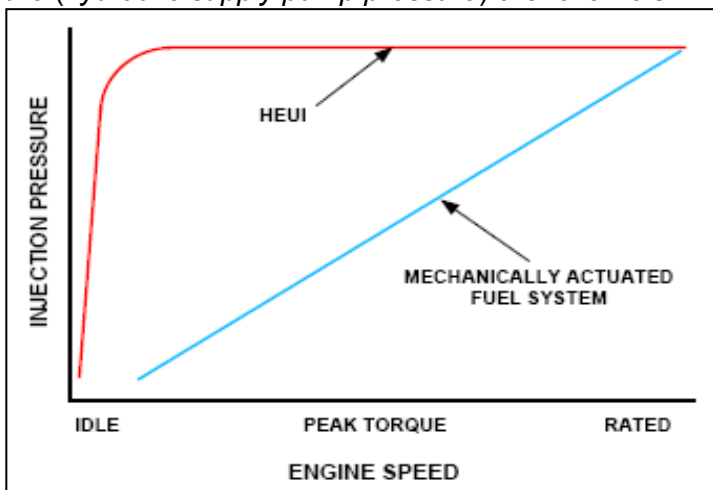
Komponen-komponen elektronik pada sistem bahan bakar *HEUI* mirip dengan yang digunakan pada sistem bahan bakar *EUI*. Akan tetapi, pada sistem *HEUI*, *injector* tidak digerakkan oleh *camshaft*.

Gambar 2.59. *Hydraulic Pump Gp Engine* 3408E/3412E

Pompa hidrolik tekanan tinggi yang menerima oli dari pompa pelumasan *engine*, mengalirkan oli untuk menggerakkan aktuator pada setiap *injector. Injector* ini diberi sinyal elektronik (sama halnya dengan sistem *EUI*) agar oli hidrolik bertekanan mengalir dan menggerakkan *fuel plunger*.

Komponen utama pada sistem bahan bakar *HEUI* terdiri atas *hydraulic actuation pump*, *ECM*, *injector HEUI*, *harness*, *sensor* dan *switch*.

Pada sistem bahan bakar *HEUI* juga terdapat sistem saluran bahan bakar bertekanan rendah yang diatur secara mekanis yang mirip dengan sistem *EUI*.

Gambar 2.60. *Injector HEUI Engine* 3408E/3412E

Unit injector HEUI secara elektronik mirip dengan *unit injector EUI*. *Injector* diatur secara elektronik oleh *ECM* tetapi proses penekanan saat injeksi dilakukan secara hidrolik. Sinyal dari *ECM* akan mengatur membuka dan menutupnya *solenoid valve*. *Solenoid valve* mengatur aliran oli hidrolik bertekanan tinggi menuju *injector*. Pengaturan jumlah bahan bakar, *timing* dan *injection actuation pressure* (*hydraulic supply pump pressure*) dilakukan oleh *ECM*.

Gambar 2.61. Kurva Pengaturan *Hydraulic Injection Pressure*

Tekanan aktuasi hidrolik yang diinginkan (*desired hydraulic actuation pressure*) untuk penyemprotan bahan bakar tidak tergantung *engine speed* (kecepatan putar *engine*).
Berbagai kombinasi dari *on-time* dan tekanan kerja hidrolik terjadi yang akan menghasilkan jumlah bahan bakar yang disemprotkan kedalam ruang yang spesifik untuk setiap langkah *injector*. Karakter ini berguna saat mengoptimalkan performa, respon, emisi dan parameter lainnya.

Fitur ini membuat sistem *HEUI* unggul, tekanan injeksi dapat mencapai nilai maksimum tanpa pengaruh kecepatan putar *engine*. Tekanan injeksi maksimum normalnya diperlukan pada *full torque speed*. Karakteristik ini berbeda dengan *pump* & *line sistem* dimana tekanan *proporsional* (berbanding lurus) dengan kecepatan putar *engine*.

Karakteristik Bahan bakar Diesel
Pengeluaran untuk bahan bakar *diesel* merupakan pengeluaran yang terbesar dibandingkan dengan biaya kepemilikan dan pengoperasian diesel *engine*. Karakteristik, kualitas dan penanganan bahan bakar mempengaruhi performa dan usia pakai *engine*.

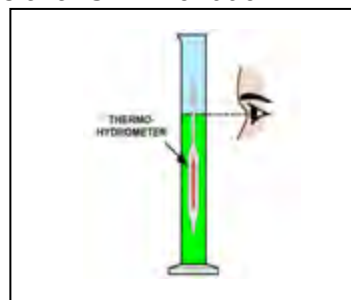
Tabel 8.Nilai Panas Pada Berbagai Jenis Bahan Bakar

HEAT VALUE PER GALLON IN BTU	
1D Diesel	137,000
2D Diesel	141,800
Gasoline	125,000
Butane	103,000
Propane	93,000

Nilai Panas Pada Bahan bakar Diesel
Nilai panas dari bahan bakar didefinisikan sebagai jumlah panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dalam jumlah tertentu. Ini merupakan petunjuk seberapa banyak energi yang tersedia dalam bahan bakar. Tabel diatas menunjukkan nilai panas dari berbagai jenis bahan bakar yang umum. Bahan bakar 1D merupakan *winter blended diesel* dan 2D adalah *summer blended diesel*.

Perhatikan, kedua jenis bahan bakar tadi mempunyai nilai panas yang cukup tinggi dibandingkan dengan bahan bakar jenis lainnya yang terdapat dalam tabel tersebut. Artinya, dalam sejumlah tertentu bahan bakar memiliki ketersediaan energi yang lebih banyak untuk diubah menjadi tenaga yang berguna untuk melakukan kerja. Ini merupakan salah satu keuntungan yang signifikan untuk menggunakan *engine diesel* sebagai sumber tenaga.
Horsepower yang dihasilkan oleh *engine* sangat ditentukan oleh 3 unsur utama yaitu:

- Udara
- Bahan bakar
- Panas

Engine yang diproduksi oleh pabrik *Caterpillar* akan mencapai *rated horsepower* bila memenuhi beberapa kondisi pengetesan pabrik yang didasari standard internasional *SAE – J1995.*

Gambar 2.62. *Fuel Hydrometer*

Pengaruh bahan bakar terhadap *horse power engine*

Kondisi fuel yang dapat berpengaruh terhadap *engine* diantaranya:

Specific Gravity

Specific gravity diesel fuel adalah berat *fuel* dengan jumlah tertentu dibandingkan dengan berat air dengan jumlah dan pada temperatur yang sama. Semakin tinggi *specific gravity* berarti semakin berat bahan bakar tersebut dan semakin besar energi atau *horsepower* yang dapat dihasilkan *engine*.

Specific gravity dapat diukur menggunakan *fuel hydrometer*. Pembacaan pada *hydrometer* menggunakan skala *American Petroleum Institut (API). Skala API* merupakan kebalikan dari *specific gravity.* Semakin besar derajat API menunjukkan semakin ringan bahan bakar tersebut, contoh bahan bakar yang ringan adalah minyak tanah memiliki derajat API sebesar 40-44. Nilai standar derajat *API* engine *Caterpillar* adalah 35 pada 60°F (SAE – J1995).

Pembacaan *Hydrometer* dipengaruhi oleh temperatur bahan bakar sehingga untuk mendapatkan nilai yang mengacu kepada standard pabrik, nilai aktual yang diperoleh harus dikoreksi menggunakan tabel koreksi yang terdapat pada *Engine Performance Reference*.

Bahan bakar yang ringan tidak akan menghasilkan *horsepower* maksimum tanpa dilakukan penyetelan pada bahan bakar sistem, namun untuk mengkompensasi kondisi tersebut penyetelan bahan bakar sistem tidak diperbolehkan karena umur komponen bahan bakar dapat menurun akibat berkurangnya efek pelumasan.

Bahan bakar yang terlalu berat mengakibatkan banyaknya *deposit* pada *combustion chamber*, sehingga dapat menimbulkan keausan yang tidak normal pada *liner* dan *piston ring*.

Temperatur bahan bakar

Kenaikan temperatur bahan bakar pada daerah antara *transfer pump* dan *fuel injection pump* atau *injector* dapat mempengaruhi kemampuan *engine*. Kenaikan temperatur ini dapat disebabkan oleh radiasi panas dari komponen *engine* lainnya atau karena terhambatnya saluran kembali (*return line*) bahan bakar ke tangki.

Semakin tinggi temperatur bahan bakar maka *spesific gravity*- nya akan semakin rendah dan nilai panas yang terkandung didalam bahan bakar menjadi berkurang. Kenaikan temperatur yang diperbolehkan antara *transfer pump* dan *fuel injection pump* atau *injector* pada *engine Caterpillar* adalah 38°C (68°F). Apabila bahan bakar temperatur pada daerah ini melebihi nilai tersebut maka nilai *horsepower* harus dikoreksi menggunakan *correction factor* yang terdapat pada *Engine Performance Reference*.

Disamping berpengaruh terhadap *horsepower*, temperatur bahan bakar yang akan masuk ke *fuel injection pump* atau saluran bahan bakar (*fuel gallery*) juga sangat berpengaruh terhadap kekentalan

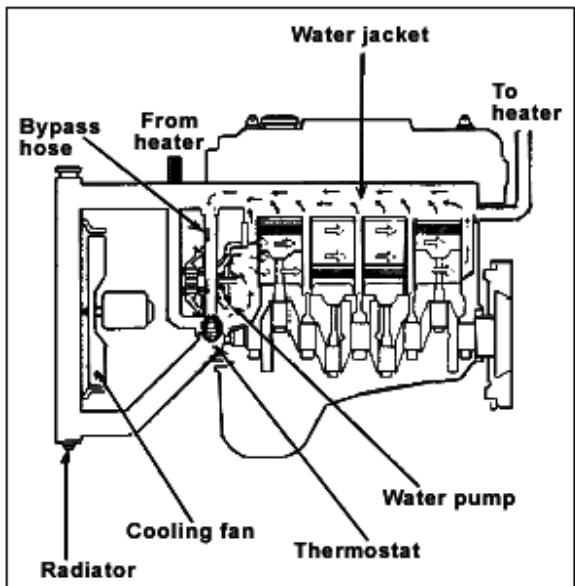
bahan bakar (*viscosity)*. Kekentalan merupakan ukuran dari hambatan cairan untuk mengalir. Kekentalan tinggi berarti bahan bakar terlalu kental dan akan sulit untuk mengalir. Bahan bakar dengan kekentalan yang yang tidak tepat (terlalu kental atau terlalu cair) dapat mengakibatkan kerusakan *engine*. Standar kekentalan (*viscosity)* bahan bakar yang akan masuk ke *fuel injection pump* sebesar adalah 1.4 – 20 *centistokes (Cts)*.
Kekentalan bahan bakar yang terlalu tinggi dapat meningkatkan keausan pada *gear train*, *cam* dan *follower fuel injection pump* karena semakin tingginya tekanan untuk penginjeksian bahan bakar. Kekentalan bahan bakar yang terlalu rendah tidak dapat menyediakan pelumasan yang baik pada *plunger, barrel* dan *injector*. Pengabutan bahan bakar juga tidak menghasilkan pengabutan yang sempurna dan *engine* susah di-*start*.
Salah satu cara mengubah kekentalan bahan bakar pada daerah yang ekstrim seperti daerah dingin atau daerah yang terlalu panas adalah dengan cara memanaskan atau mendinginkan bahan bakar.

c. Rangkuman.

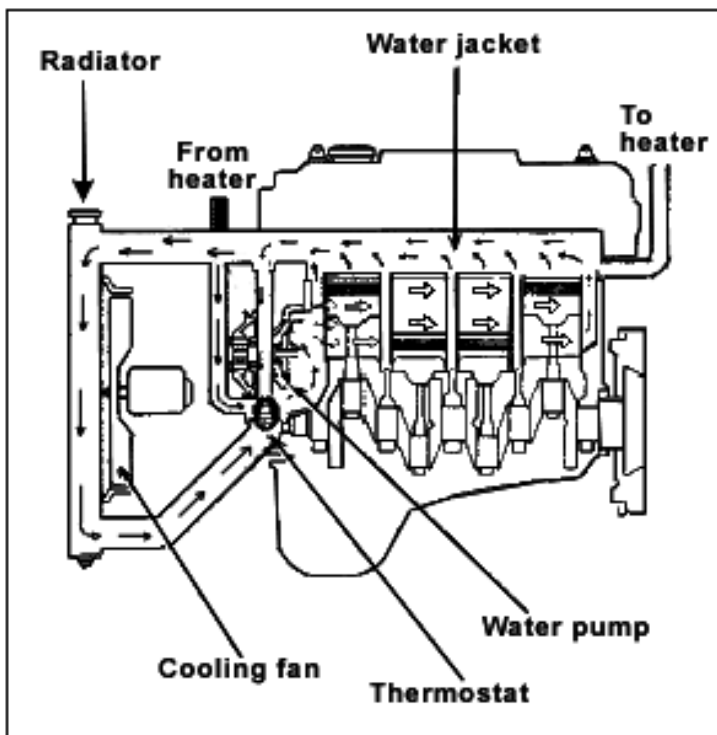
Pembakaran bahan bakar dalam silinder mesin menyalurkan energi panas ke dalam bentuk tenaga putar. Tetapi energi panas dari bahan bakar tidak sepenuhnya dapat dikonversikan ke dalam bentuk tenaga. Hanya kurang lebih 25 % dari energi yang dikonversikan menjadi tenaga. Kurang lebih 45 % dari energi panas hilang menjadi gas buang atau geseksan dan 30 % diserap olrh mesin itu sendiri.

Panas yang diserap oleh mesin harus dikeluarkan ke udara sekeliling atau lainnya karena bila tidak akan menyebabkan mesin menjadi kelebihan panas dan pada akhirnya rusak. Sistem pendidinginan dipasang untuk mendinginkan mesin agat tidak kelbihan panas.
Pendinginan mesin biasanya menggunakan sistem pendinginan udara atau sistem pendinginan air. Pada umumnya mesin otomotip menggunakan sistem pendinginan air.

Sistem Pendinginan Air
Sistem pendinginan air adalah lebih sulit dan lebih mahal dari pada sistem pendinginan udara. Tetapi sistem pendinginan air mempunyai beberapa keuntungan. Air pendingin mesin adalah aman sebab ruang pembakaran dikelilingi oleh air pendingin (air ditambah macam-macam additive, dan juga anti beku), yang juga sebagai peredam suara. Air pendingin yang panas dapat juga berfungsi sebagai sumber panas pada pemanas udara.
Konstruksi
Sistem pendinginan air terdiri dari mantel pendingin, pompa air, radiator, thermostat, kipas pendingin, selang karet dan sebagainya.

Fungsi dan cara kerja
Aliran air pendingin pada saat mesin masih dingin

Gambar 2.63. Komponen sistem pendinginan

Air pendingin ditekan / dialirkan oleh pompa dan disirkulasikan seperti yang dijelaskan pada gambar. Ketika mesin dingin, air pendingin masih dingin dan thermostat masih menutup. Yang berarti air pendingin bersirkulasi melalui saluran bypass ke kepala silinder dan kembali ke pompa air.
Jangan menghidupkan mesin dengan thermostat dilepas. Rangkaian baypass akan tetap membuka, air pendingin akan mengalir ke bypass radiator dimana air pendingin akan didinginkan. Ini akan menyebabkan mesin kelebihan panas.

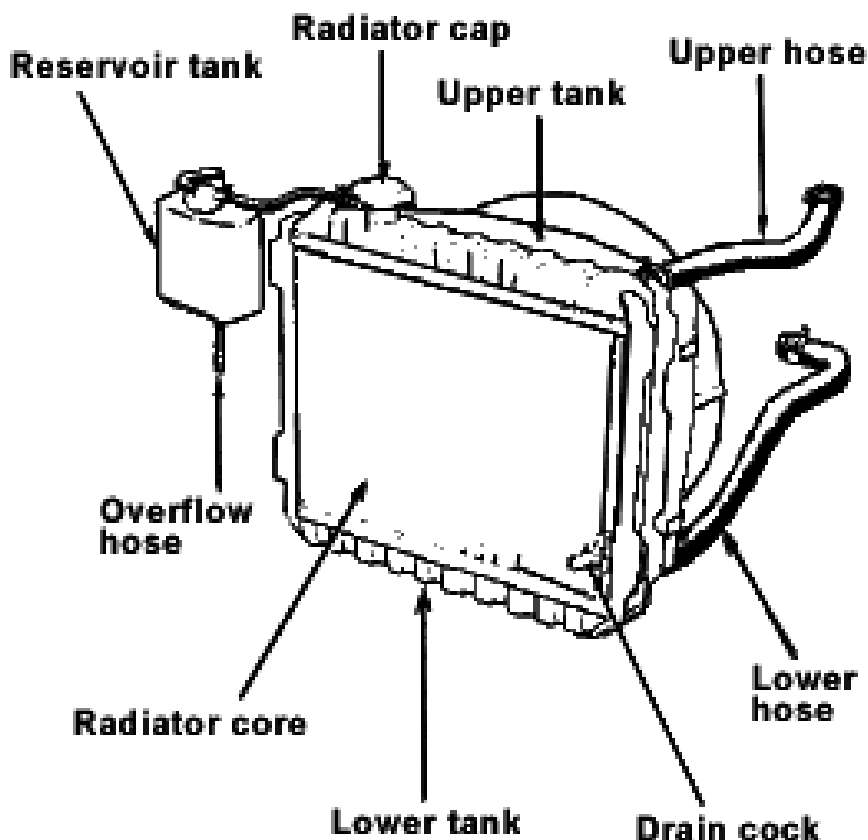
Aliran air pendingin pada saat mesin panas

Gambar 2.64. Aliran air pendingin saat panas

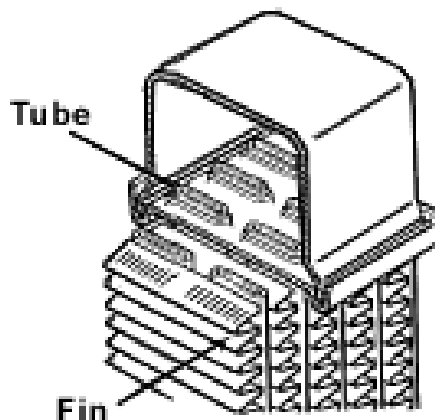
Saat mesin sudah panas, thermostat membuka dan katup bypass menutup aliran bypass. Air pendingin, sesudah dipanaskan dalam mantel air (yang mengambil panas dari mesin), dialirkan ke radiator untuk didinginkan oleh kipas pendingin dan angin yang mengalir dari depan kendaraan saat kendaraan melaju.
Air pendingin dipompa kembali oleh pompa air sebelum dikirim kembali ke mantel air.

Radiator

Radiator mendinginkan air pendingin sesudah mendapat panas dari aliran dalam mantel air. Radiator terdiri dari tangki bagian atas, tangki bagian bawah dan inti pendingin yang dirangkai diantaranya. Air pendingin masuk melalui tangki bagian atas lewat selang/pipa atas. Tangki bagian atas dipasangkan sebuah lubang dengan tutup untuk memasukan air pendingin baru. Pada tangki bagian atas juga dihubungkan dengan tangi cadangan (reservoir) untuk menampung luapan air sebagai efek pemanasan atau menampung uap air. Tangki bagian bawah mempunyai keluaran dan lubang pembuang.

Inti radiator terdiri dari beberapa pipa yang dilewati air pendingin dari tangki bagian atas ke bagian bawah. Inti radiator dilengkapi dengan beberapa sirip-sirip pendingin untuk memindahkan panas dari air

pendingin. Radiator biasanya dipasang dibagian depan kendaraan yang juga dapat mendinginkan radiator dengan aliran uadara saat kendaraan melaju.

Gambar 2.65. Konstruksi radiator

Inti Radiator
Seperti penjelasan di atas, inti radiator terdiri dari beberapa pipa yang mengalirkan air pendingin dari tangi bagian atas ke bagian bawah. Inti radiator dilengkapi dengan sirip-sirip pendingin. Panas dari air pendingin dipindahkan pertama kali ke sirip-sirip pendingin, sirip-sirip pendingin didinginkan oleh kipas pendingin dan udara yang mengalir saat kendaraan melaju.

Gambar 2.66. Inti radiator

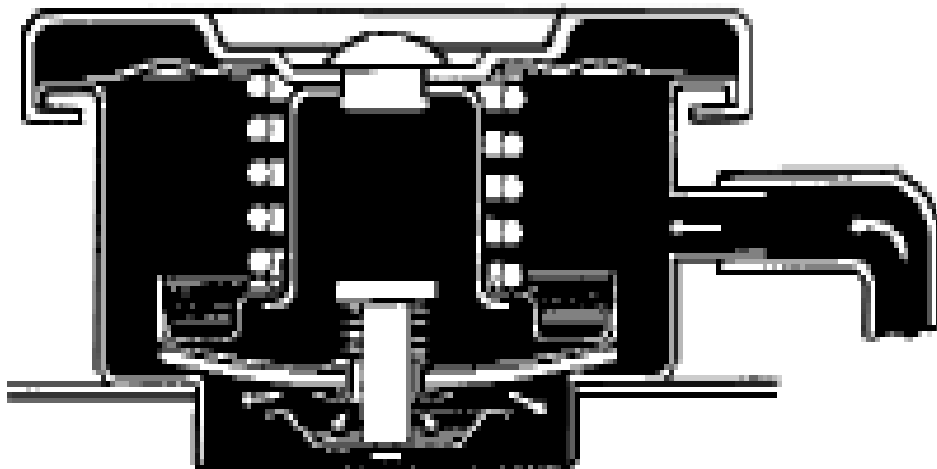
Ada dua macam uatam dari inti radiator, yang mana perbedaannya tergantung perencanaan dari sirip-sirip pendingin: sirip-sirip berlapis-lapis dan sirip-sirip bergelombang, seperti yang digambarkan di bawah ini. Beberapa kendaraan modern masih menggunakan versi baru dari tipe sirip-sirip bergelombang yaitu tipe SR. Inti dari radiator tipe SR hanya mempunyai satu jalur pipa dengan demikian seluruh struktur radiator lebih tipis dan lebih ringan dibandingkan radiator konvensional.

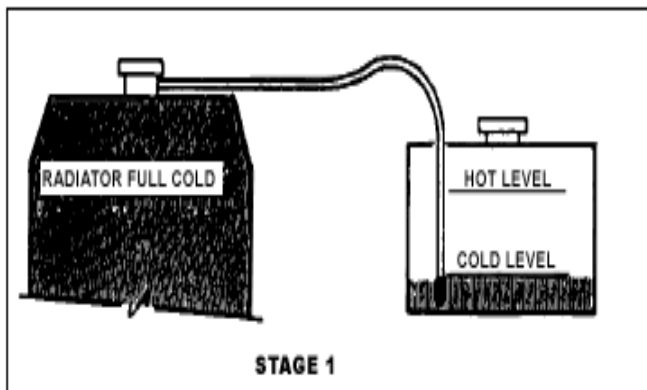
Tutup Radiator

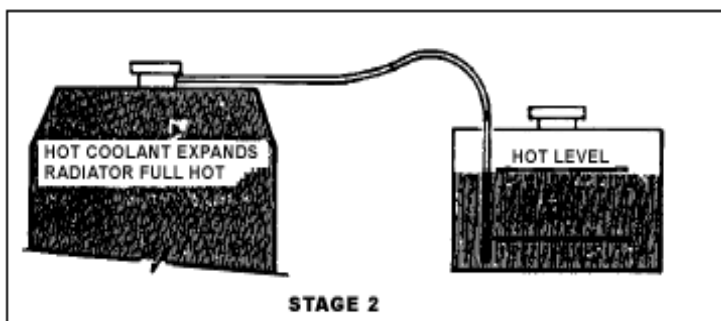
Radiator biasanya dilengkapi dengan tutup radiator bertekanan yang dirapatkan dengan menggunakan karet perapat. Ini akan menyebabkan saat temperatur naik kuramng lebih 100 derajat Celsius (212° F) air tidak mendidih. Penggunaan tutup bertekanan karena efek pendinginan dari radiator menaikan perbandingan perbedaan temperatur antara udara luar dan air radiator. Ini berarti ukuran radiator dapat diperkecil tanpa mempengaruhi efek pendinginan yang diperlukan.

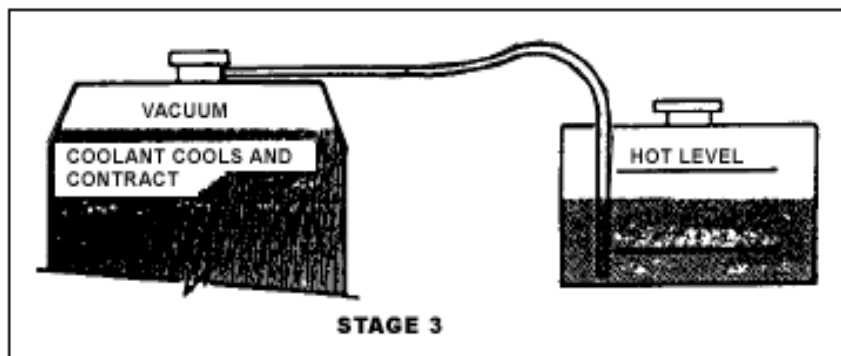
Tutup bertekanan mempunyai katup pelepas dan katup vakum seperti terlihat dalam gambar di bawah ini. Ketika air pendingin bertambah naik volumenya akibat temperatur naik, karenanya tekanan juga naik. Ketika tekanan naik di atas tingkat yang ditentukan (0.3 sampai 1.0 kg/cm^2 pada 110 sampai 120^0 C; 4.3 psi, 29.4 kPa sampai 14.2 psi, 98 kPa pada 230 sampai 248^0 F), katup pelepas membuka akibat tekan lebih untuk mengalirkan air ke reservoir lewat pipa pengalir.

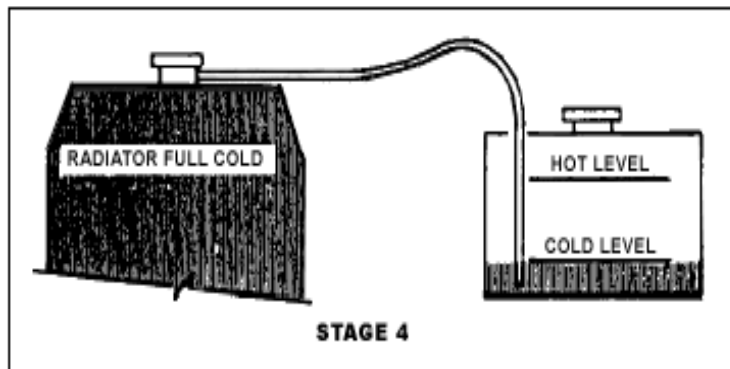
Gambar 2.67. Saat katup tekanan membuka

Temperatur air radiator turun sesudah mesin mati dan dalam radiator terjadi kevakuman. Katup vakum akanmembuka otomatis untuk mengalirkan air dari reservoir ke radiator kembali hingga tekanan dalam radiator menjadi sama dengan tekanan udara luar.

Gambar 2.68. Saat katup vakum membuka

Sistem Pengisian Kembali Air Radiator
Sistem pengisian kembali bekerja sebagai berikut:

Gambar 2.69. *Stage* 1 pengisian air pendingin dengan *reservoir*

Stage/langkah 1: Mesin dingin. Air pendingin dalam tabung *reservoir* pada posisi *"COLD" level*.

Gambar 2.70. *Stage* 2 pengisian air pendingin dengan *reservoir*

Stage/langkah 2: Selama mesin bekerja dan dengan segera sesudah dimatikan, air pendingin tekanannya naik. Tekanan ini membuka katup pelepas dalam tutup radiator dan kemudian air radiator mengalir ke dalam tabung *reservoir.*

Gambar 2.71. *Stage* 3 pengisian air pendingin dengan *reservoir*

Stage/langkah 3: Selama mesin mati air radiator dingin dan menyusut. Ini akan menaikan kevakuman dalam radiator dan membuka katup vakum dalam tutup radiator dan menarik air pendingin dari tabung *reservoir* kembali ke radiator.

Gambar 2.72 *Stage* 4 pengisian air pendingin dengan *reservoir*

Stage/langkah 4: Mesin dingin, air dalam *reservoir* kembali pada posisi "*COLD' level*

Air dalam sistem pendinginan sebagai pemindah panas yang memadai dari macam-macam komponen dalam sebuah mesin. Air yang digunakan dalam sistem pendingan apakah mempunyai kwalitas seperti air minum atau tidak, akan menimbulkan korosi lingkungan dalam sistem pendingin. Dengan demikian derajat endapan mungkin terbentuk pada permukaan bagian dalam dari komponen-komponen yang didinginkan karena reaksi mineral-mineral dalam air pendingin.

Pencegah korosi adalah cairan kimia yang dapat larut dalam air, bila dicampurkan dalam air pendingin akan melindungi permukaan logam dari sistem pendinginan terhadap terbentuknya korosi. Pencegah korosi harus dapat melindungi sistem pendinginan sebagai bahan yang mencegah pembentukan korosi dan reaksi asam yang ada dalam air.

Penggunaan yang benar dari pencegah korosi adalah menjadi bagian dari program perawatan mesin. Semua produsen mesin dengan sistem pendinginan air di dunia sekarang ini mempunyai spesifikasi penggunaan pencegah korosi yang sama dalam sistem pendinginan. Dan lagi, pencagah korosi diakui cocok sesuai dengan penggunaannya. Pencegah korosi harus dirawat pada kekuatan yang benar (pH/berat jenis) dan diganti secara berkala, untuk memastikan pencegahan yang bear pada mesin. Dalam pemilihan pencegah

korosi, yang penting memastikan pencegah korosi juga menyediakan pencegah melawan pembentukan endapan.

Ethylene glycol adalah dasar Anti pembekuan dengan pencegah korosi ditetapkan untuk beberapa kendaraan terutama sekali kendaraan import. Dimana kendaraan bekerja di daerah dingin, perlu menyediakan mesin dengan pencegah pembekuan, sama baiknya dengan pencegah korosi. Untuk daerah tropis pencegah pembekuan tidak diperlukan, dan hanya pencegah korosi yang dibutuhkan.

Hal-hal yang utama

- Air tanah dan air olahan akan memenuhi terhadap pencegahan korosi lingkungan dalam sistem pendinginan.

- Pencegah korosi seharusnya digunakan untuk melindungi mesin dan pasti biaya perawatan akan murah.

Ethylene Glycol berisi prosentase tingkat titik didih

33% dari volume = 104^{0} C pada temperatur ruang
50% dari volume = 109^{0} C dengan tekanan
60% dari volume = 113^{0} C

Analisa laboratoriom memungkinkan kita untuk memperoleh analisa cairan pendingin secara rinci. Itu adalah sangat berharga dan membutuhkan waktu tetapi dengan hasil yang teliti sekali. Alternatif lain, ada alat-alat lain yang mungkin bekerjanya seperti *Refraktometer.* Alat ini menggunakan prisma kaca dengan bahan sampel cairan pendingin yang ditempetkan di dalamnya dan kemudian dengan bantuan cahaya akan memperlihatkan warna-warna yang berbeda dari spektrum yang tergantung pada penggunaan *ethylene glycol*. Sekali lagi, hasil teliti tetapi metode sangat mahal.
Cara yang paling cepat dan efektif untuk mendapatkan beberapa pengetahuan dari kondisi cairan pendingin adalah dengan penggunaan dua metode utama yang dijelaskan berikut ini.

Pengukuran Berat Jenis

Dengan menggunakan Hidrometer berat jenis cairan dapat diukur. Ini akan memperlihatkan persentase dari volume *ethylene glycol* dalam cairan pendingin tetapi tidak dapat menunjukkan kualitas pencegah korosi.

Berat Jenis

Berat jenis menunjukkan kerapatan reltif dari cairan. Berat jenis dari cairan pendingin ditentukan dengan penggunaan hidrometer. Pengukuran itu tidak menunjukkan kondisi atau jumlah pencegah korosi yang ada. Kosentrasi *ethylene glycol* dalam cairan pendingin

dapat juga ditentukan dengan penggunaan hidrometer. Penentuan ini tidak menyatakan bahwa glycol dalam keadaan baik atau menunjukkan penurunan senyawa asam. Kosentrasi dalam *propylene glycol* juga digunakan sebagai anti beku tidak dapat diukur dengan teliti dengan hidrometer seperti pengukuran berat jenis dari air.

Tabel di bawah ini dapat digunakan sebagai pedoman pengukuran prosentasi *ethylene glycol*, pengukuran pada temperatur 20^0 C.

Berat Jenis	Prosentase Anti beku setiap volume	Titik beku
1.080	50	-37^0 C
1.065	40	-25^0 C
1.050	30	-16^0 C
1.042	25	-13^0 C
1.034	20	-9^0 C
1.026	15	-7^0 C
1.016	10	-4^0 C

Mengukur derajat keasaman (pH) Air Pendingin

Pengukuran derajat keasaman paling cepat mengunakan *Litmus paper.*

Derajat keasaman (pH) yang diinginkan adalah pada 7.5, derajat keasaman di atas atau di bawah 7,5 dapat menyebabkan korosi. *Litmus paper* tersedia pada ahli kimia atau penyedia peralatan teknik/kimia. *Litmus paper* tersedia dalam bentuk rol dengan tingkat warna dan grafik pada sisinya.

-pH.

Menunjukkan kadar asam atau alkali dalam cairan pendingin. –pH tidak menunjukkan jumlah atau kondisi dari persentase pencegah korosi. Korosi yang keras dapat terjadi pada pH yang tinggi.

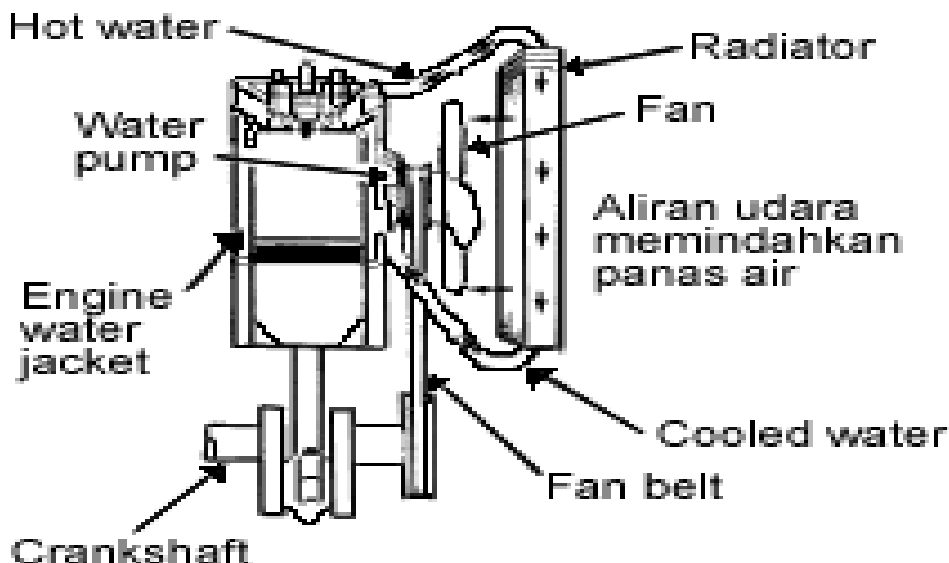
Pengujian dengan Voltmeter

Letakkan ujung kabel pengukur negatip voltmeter pada massa/ground dan ujung kabel pengukur positip voltmeter pada air pendingin. Pembacaan voltmeter tidak boleh lebih dari 0.4 Volt. Pembacaan di atas 0.4 Volt berarti air pendingin terlalu asam dan korosi akan terjadi. Buang dan ganti campuran air pendingin (periksa kembali pengukuran voltmeter sesudah menghidupkan mesin dan mesin hidup beberapa saat).

Hal-hal Penting

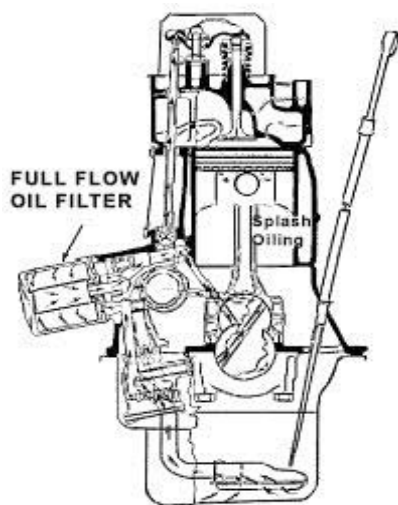
- Pemeriksaan berat jenis hanya menunjukkan kadar isi dari Ethylene Glycol dan tidak menunjukkan kwalitas dari pencegah korosi.

- Pemeriksaan pH digunakan untuk EthyleneGlycol dan Sodium Nitrate sebagai bahan dasar air pendingin
- Sebagian terbesar dari produsen menganjurkan penggunaan cairan pendingin memerlukan pengantian secara periodik (contoh: 18-24 bulan atau menurut petunjuk servis dari produsen kendaraan).
- Jangan mencampur cairan pendingin yang berbeda-beda yang dapat bereaksi satu dengan yang lain dan akhirnya berbentuk gel.
- Cairan pendingin dapat menjadi asam untuk itu kerusakan mungkin terjadi pada cat jika cairan menyembur pada permukaan cat.
- Hati-hati, karena kandungan asam pada cairan pendingin dapat menyebabkan iritasi hebat.

Sistem pendinginan berfungsi untuk menjaga temperatur kerja *engine*, agar *engine* dapat bekerja secara efisien. Sistem pendinginan bekerja dengan mensirkulasikan cairan pendingin , melalui mantel pendingin yang berada di blok silinder dan kepala silinder. Air pendingin yang panas dari *engine* dialirkan ke radiator bagian atas melalui pipa atas radiator dan didinginkan melalui sirip-sirip yang terdapat pada radiator dan hisapan udara dari kipas. Air pendingin yang sudah dingin dibagian bawah radiator dialirkan kembali ke dalam *engine* melalui pipa bawah radiator, begitulah seterusnya proses sirkulasi air pendingin berlangsung.

Gambar 2.73. Sirkulasi air pendingin

Sistem Pelumasan berfungsi untuk mengurangi gesekan atau keausan komponen pada engine. Sistem ini bekerja dengan cara memberikan oli pelumas ke bagian komponen-komponen *engine* yang bergesekan. Pada komponen *engine* yang mempunyai beban tinggi, misalnya: metal jalan dan metal duduk, oli pelumas diberikan dengan bertekanan. Sedangkan bagian lain yang tidak berbeban berat, misalnya dinding silinder, oli pelumas diberikan dengan cara dipercikkan selama poros engkol berputar.

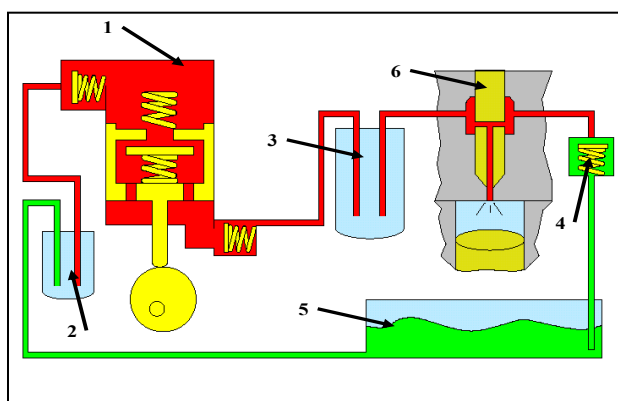
Oli engine disimpan dalam bak oli atau karter yang terdapat dibagian bawah *engine.* Oli dari karter dihisap oleh pompa oli dan disirkulasikan ke seluruh bagian *engine* yang memerlukan pelumasan. Sebelum disirkulasikan, oli tersebut disaring dengan filter oli dari kotoran atau partikel logam. Filter oli ini dapat diganti bila sudah kotor. Pada sistem pelumasan, juga terdapat valve pengatur tekanan oli (valve pengaman) yang berfungsi untuk mencegah agar tekanan oli tidak berlebihan pada saat putaran *engine* tinggi.

Setelah oli melumasi ke seluruh komponen yang bergesekan, dengan sendirinya oli akan kembali ke dalam karter dengan bantuan gaya grafitasi bumi, dan selanjutnya oli siap untuk disirkulasikan kembali.

Gambar 2.74. Sistem Pelumasan

Pada sistem bahan bakar mesin diesel, feed pump menghisap solar dari tangki bahan bakar. Bahan bakar disaring oleh fuel filter dan kandungan air dalam bahan bakar dipisahkan oleh water sedimenter sebelum dialir-kan ke pompa injeksi.

Peningkatan tekanan penginjeksian bahan bakar pada sistem bahan bakar yang menggunakan pompa dan saluran bertekanan tinggi (*pump* & *line fuel sistem*) sangat terbatas untuk bisa dilakukan karena sistem ini masih mempergunakan saluran bertekanan tinggi.

Oleh sebab itu *Caterpillar* menciptakan *Mechanical actuated Unit Injector* yang tidak lagi mempergunakan saluran bertekanan tinggi. Sistem bahan bakar *Mechanical actuated Unit Injector* memberikan peningkatan performa dan emisi bila dibandingkan dengan sistem bahan bakar yang menggunakan pompa dan saluran bertekanan tinggi (*pump* & *line fuel sistem*). *Caterpillar* menggunakan *mechanical unit injector* pada *engine* kecil seperti 3116/3126 dan *engine* besar seperti seri 3500 dan seri 3600.

Prinsip Kerja *Mechanical actuated Unit Injector* (MUI)

Gambar 2.75. Diagram *Mechanical actuated Unit Injector*

Mechanical actuated Unit Injector mengkombinasikan antara *nozzle* dengan *fuel injection pump*. *Fuel transfer pump* (1) menghisap bahan bakar dari Tangki (5) melalui *primary screen* (2) dan mengirimnya ke *Spin ON Secondary fuel filter* (3).

Dari *fuel filter*, bahan bakar mengalir ke saluran yang berada pada *cylinder head*. Saluran ini menghubungkan masing-masing gallery disetiap *unit injector* dan menyediakan aliran bahan bakar yang berkesinambungan menuju *unit injector.*

Bahan bakar yang tidak terpakai pada *cylinder head*, mengalir kembali ke Tangki (5) melalui *pressure regulating valve* (4) yang berupa *orifice* atau *check valve*. *Pressure regulating valve* (4) juga berfungsi mempertahankan pressure tertentu didalam *fuel gallery* dan menjaga supaya *fuel gallery* tetap terisi bahan bakar saat engine mati.

Pengontrolan jumlah bahan bakar yang akan diinjeksikan diatur oleh *mechanical governor* yang terhubung ke masing-masing *injector* melalui *mekanisme linkage*.

d. Latihan/Tugas

e. Tes Formatif

g. Kunci Jawaban

3. Kegiatan Belajar 3. Prinsip Kerja dan Pemeriksaan Komponen *Engine*

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah selesai mempelajari materi kegiatan belajar 3 ini siswa dapat:

1). Menjelaskan fungsi komponen *engine* dengan benar sesuai referensi
2). Memeriksa komponen *engine* sesuai manual
3). Melepas grup kepala silinder dengan benar sesuai SOP.
4). Melepas grup blok silinder dengan benar sesuai SOP.

b. Uraian Materi

Dasar Kerja *Diesel Engine.*

Terdapat sejumlah komponen yang bekerja sama mengubah energi panas menjadi energi mekanis pada *engine diesel*.
Pemanasan udara, digabungkan dengan induksi bahan bakar menghasilkan pembakaran, yang menciptakan gaya yang diperlukan untuk menjalankan *engine*. Udara, yang berisi oksigen, diperlukan untuk membakar bahan bakar.

Bahan bakar menghasilkan tenaga. Saat dikabutkan, bahan bakar terbakar dengan mudah dan dengan efisien.
Bahan bakar harus terbakar dengan cepat, dalam proses yang teratur untuk menghasilkan tenaga panas.

Udara + Bahan Bakar + Panas = Pembakaran
Pembakaran ditentukan oleh tiga hal, yaitu:

- Volume udara
- Jenis bahan bakar yang digunakan
- Jumlah campuran bahan bakar dan udara

Ruang Pembakaran
Ruang bakar dibentuk oleh:

- *Cylinder liner*
- *Piston*
- *Intake valve*
- *Exhaust manifold*
- *Cylinder head*

Ketika udara dimampatkan maka panas udara akan naik. Semakin tinggi tekanannya, panas yang dihasilkan semakin tinggi. Dengan tekanan yang tepat, suhu yang dihasilkan akan mencapai titik nyala bahan bakar. Inilah alasannya mengapa *engine diesel* memiliki nilai kompresi yang tinggi.

Jenis bahan bakar yang digunakan oleh *engine* mempengaruhi pembakaran karena jenis bahan bakar yang berbeda akan terbakar pada suhu yang berbeda dan menghasilkan tenaga yang berbeda pula.

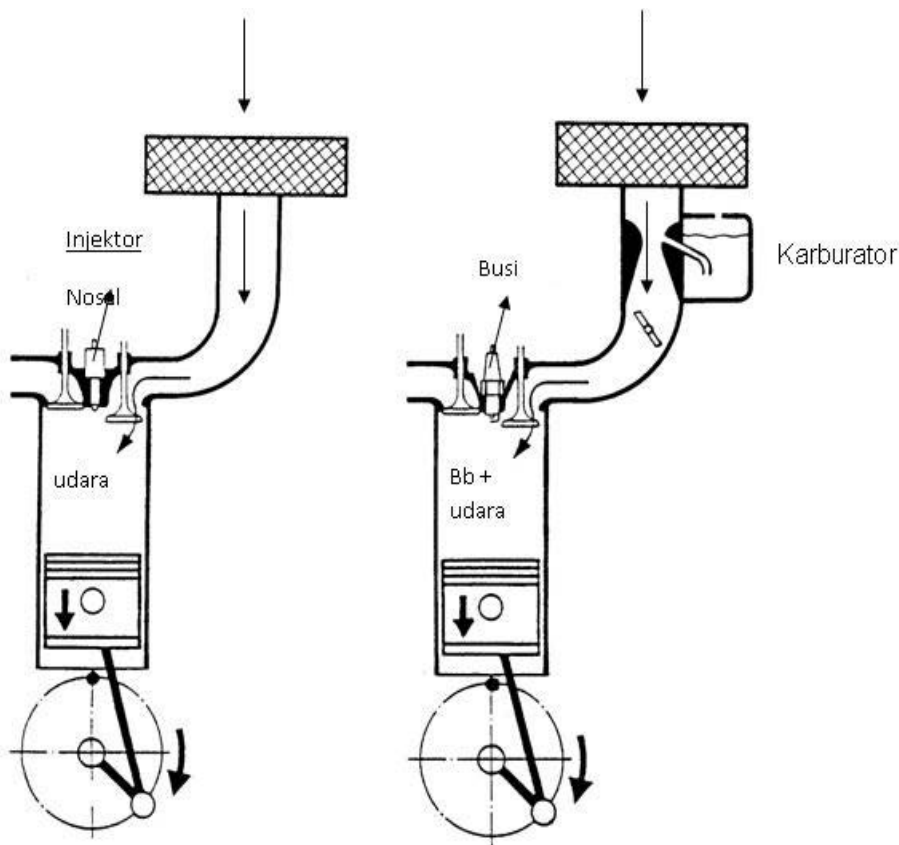
Perbedaan *Petrol Engine* dan *Diesel Engine*

Baik *engine petrol* maupun *engine diesel* adalah *engine Internal Combustion (IC)* yang bekerja dengan dua maupun empat langkah. Perbedaan utama antara keduanya adalah masuknya bahan bakar ke dalam ruang bakar dan cara pembakarannya. Walaupun rancangan dasarnya serupa, namun fitur *engine* dan karakteristik performanya jauh berbeda.

Tabel 8.Perbandingan Mesin bensin dan mesin disel

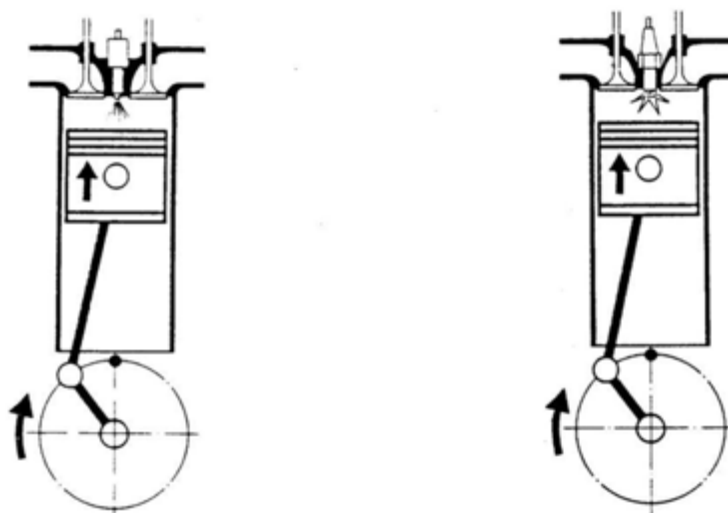
Fitur Yang Dibandingkan	Diesel Engine	Petrol Engine
Bahan bakar yang digunakan	'A' grade Diesel (Distillate)	Petrol atau Gas
Pemasukan bahan bakar ke cylinder		
Bagaimana	Injector	Carburettor atau Injector
Di mana	Ruang bakar	Manifold atau Inlet Port
Kapan	Akhir Langkah Kompresi	Selama Langkah Induksi
Compression Ratio	14:1 - 24:1	7:1-11:1
Compression Pressure	3150-3850 kPa	770 -1400 kPa
Compression Temperature	425 - 550°C	Sampai 250°C
Pembakaran	Panas dari udara yang bertekanan	Electric Spark
RPM Maksimum	2000-4000 RPM	4000 - 7500 RPM
Torque	Sedikit bervariasi selama range kecepatan	Banyak bervariasi selama range kecepatan
Thermal Efficiency	35-40%	25 - 30%
Kandungan CO rata-rata pada gas buang	0.1-0.2%	Sampai 4%
Kontrol kecepatan	Hanya bahan bakar	Volume campuran udara/bahan bakar

- **Langkah isap**

Motor *Diesel*	Motor *Otto*/bensin
♦ Pada motor disel yang dihisap hanya udara, hingga silinder terisi penuh ♦ Menggunakan saringan basah	♦ Pada motor bensin yang dihisap adalah campuran bahan bakar dan udara, dan silinder akan terisi sesuai dengan posisi katup gas. ♦ Menggunakan saringan kering

Gambar 3.1 Langkah Isap

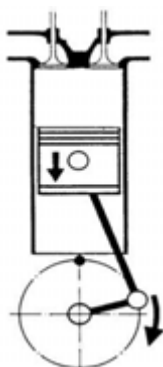
Perhatikan gambar diatas, bahwa mesin disel yang masuk kedalam silinder diatas torak hanya udara murni, maka harus diperhitungkan kebersihan udara yang masuk dan juga kecukupan volumenya.

Pada mesin bensin seperti terlihat pada gambar diatas, bahwa yang masuk terisap kedalam silinder di atas torak adalah campuran udara dan bensin.

- **Langkah kompersi**

Gambar 3.2 Langkah kompresi disel dan bensin

Kompresi pada *engine* disel harus dapat menghasilkan temperatur tinggi agar dapat membakar semprotan solar pada akhir langkah kompresi.

- Perbandingan kompresi = 15–23;
- Udara dikompresi sampai, 1,5–4 Mpa (15 – 40 bar);
- Temperatur menjadi kurang lebih 700–900 ^{o}C; dan
- Penyemprotan bahan bakar dimulai 30–10 sebelum TMA

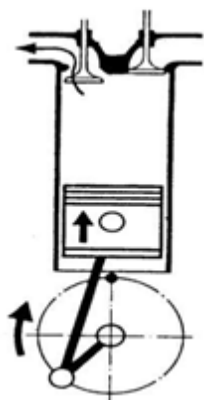
- Langkah usaha

Motor *Diesel*

- Bahan bakar terbakar dengan sendirinya akibat temperatur udara yang panas; dan
- Tekanan pembakaran 4–12 Mpa (40–120 bar)

Motor *Otto*

- Bahan bakar terbakar akibat loncatan bunga api pada busi; dan
  Tekanan pembakaran 3–6 Mpa (30–60 bar)

Gambar 3.3 Langkah usaha

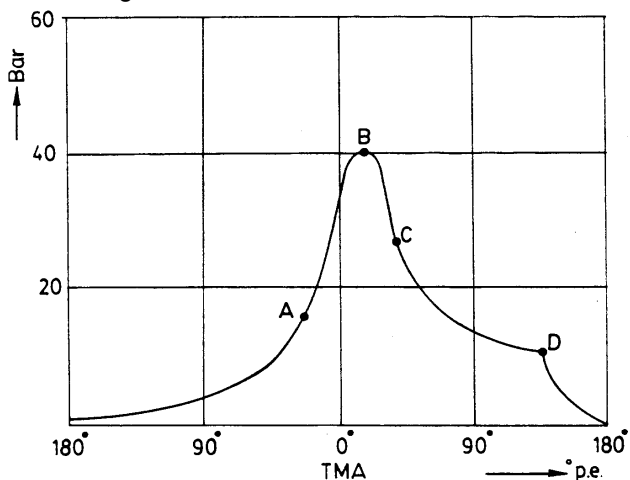
- Langkah buang

Motor *Diesel*

Temperatur gas buang 500–600 °C

Motor Otto

Temperatur gas buang 700–1000 °C

Gambar 3.4 Langkah buang

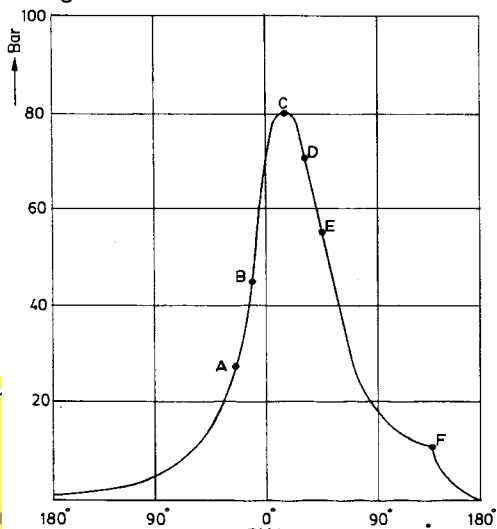
Diagram indikator tekanan motor Otto 4 tak

Keterangan:

A = Saat pengapian

B = Tekanan maksimum

C = Akhir pembakaran

D = Katup buang membuka

Diagram indikator tekanan motor Disel 4 tak

Keterangan:

A = Mulai penyemprotan

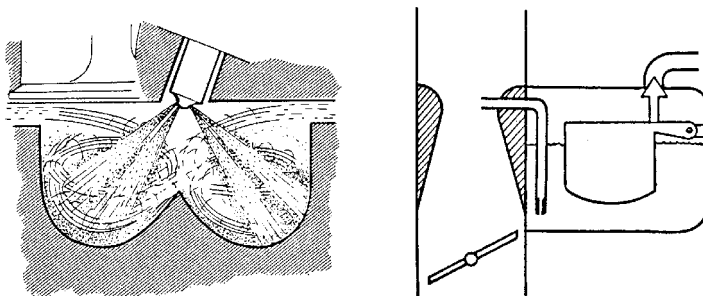
B = Mulai penyalaan

C = Tekanan maksimum

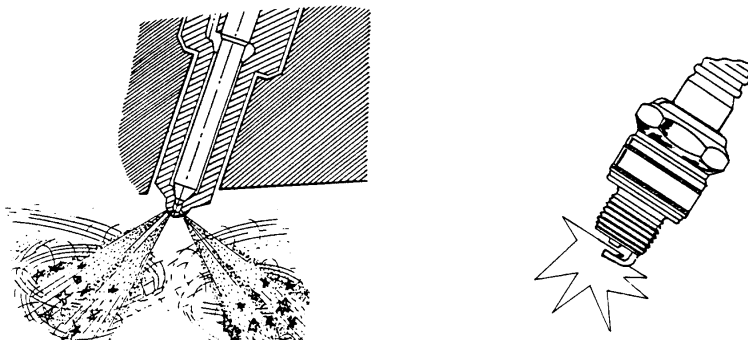
D = Akhir penyemprotan

E = Akhir pembakaran

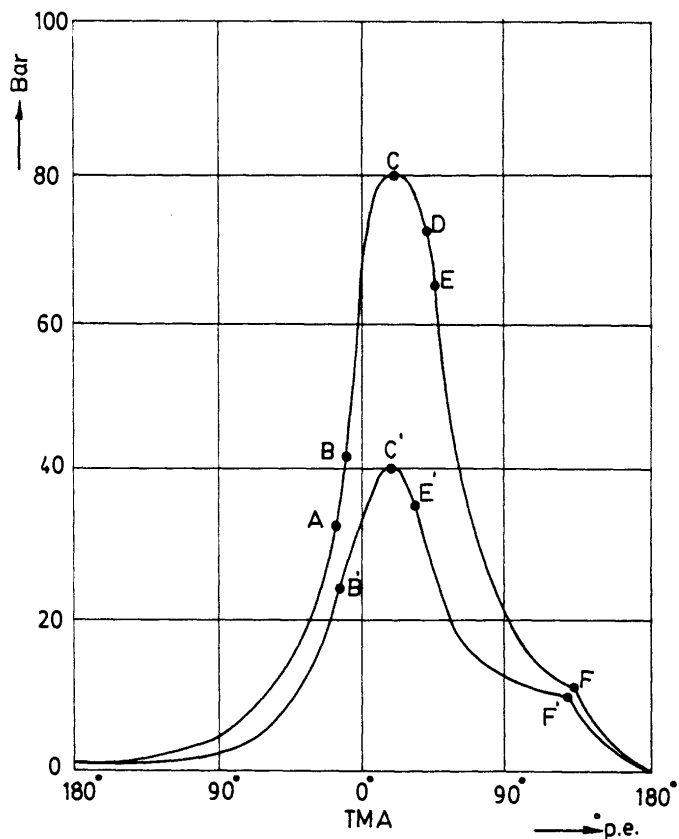
F = Katup buang terbuka

- Perbedaan pembentukan campuran

Gambar 3.5. Pembentukan campuran motor disel dan bensin

Motor *Diesel*	Motor Otto
Pembentukan campuran bahan bakar dan udara berada di dalam ruang bakar	Pembentukan campuran bahan bakar dan udara berada di luar silinder (karburator, *manifold* isap)

- Perbedaan cara penyalaan

Gambar 3.6. Penyalaan motor disel dan bensin

Motor Disel	Motor Bensin
Terjadi dengan sendirinya akibat temperatur akhir kompresi yang tinggi dan titik penyalaan bahan bakar yang relatif rendah	Terjadi akibat dari loncatan bunga api pada busi

- Perbedaan proses pembakaran

Keterangan:

A = penyemprotan
B = Mulai penyalaan
B` = Saat pengapian
C = Tekanan maksimum
C` = Tekanan maksimum
D = Akhir penyemprotan
E = Akhir pembakaran
E` = Akhir pembakaran
F = Katup buang membuka
F` = Katup buang membuka

Motor Disel	**Motor Bensin**
• Tekanan pembakaran maksimum jauh lebih tinggi dari pada motor *otto;* dan • Proses pembakaran dapat dikendalikan oleh sistem injeksi (misalnya : lama penyemprotan menentukan lama pembakaran)	• Tekanan pembakaran maksimum lebih rendah dari pada motor disel; dan • Proses pembakaran tidak dapat dikendalikan.

- Perbedaan perbandingan campuran

	Putaran idle	Beban menengah	Beban penuh
Bensin	Kaya 1 : 10	Sedikit kurus 1 : 17	Sedikit kaya 1 : 12
Diesel	Kurus sekali 1:300	Kurus 1:30	Sedikit kurus 1:17

- Perbedaan momen putar, putaran, daya & efisiensi

	Momen putar/dm^3 volume silinder	Putaran maksimum	Daya/dm^3 volume silinder	Efisiensi
Bensin	70–90 $^{Nm}/_{dm^3}$	5000–6000 rpm	25–40 $^{kw}/_{dm^3}$	20–30 %
Disel	80–90 $^{Nm}/_{dm^3}$	2000–5000 rpm	20–30 $^{Km}/_{dm^3}$	30–50 %

Pemakaian bahan bakar motor disel lebih hemat dari pada motor bensin karena :

- Perbandingan kompresi yang tinggi

- Perbandingan campuran selalu kurus

Daya motor disel lebih rendah dari pada motor bensin, karena putarannya lebih rendah

Prinsip kerja *diesel engine* empat langkah

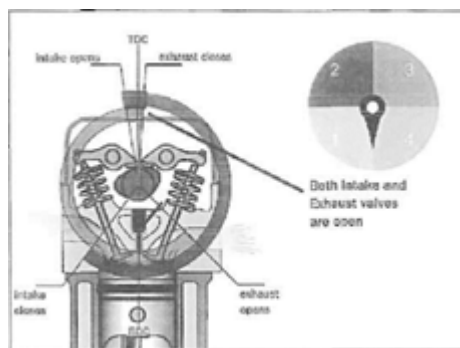
Seluruh *diesel engine* Caterpillar menggunakan sistem pembakaran dalam *(internal combustion system)* dengan prinsip kerja empat langkah atau sering juga disebut empat tak.

Konsep empat langkah adalah dalam menghasilkan satu kali kerja dibutuhkan empat langkah *piston* dan dua kali putaran *crankshaft* yaitu:

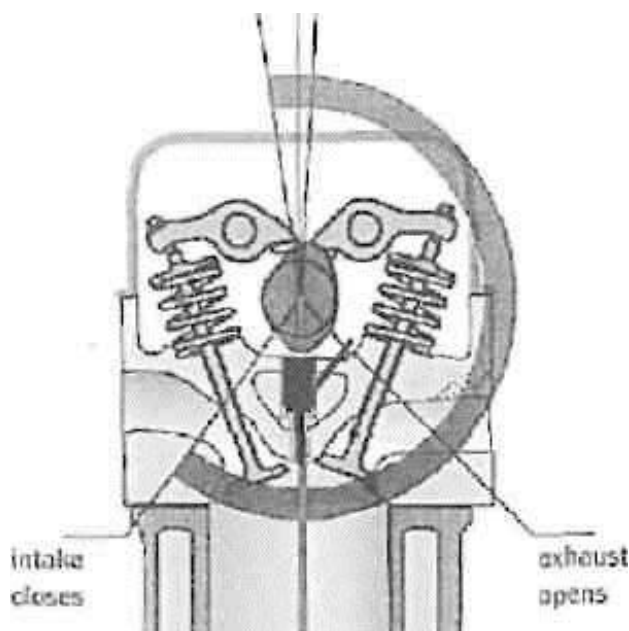
- Langkah pemasukan *(intake stroke)*
- Langkah kompresi *(compression stroke)*
- Langkah kerja *(power stroke)*
- Langkah pembuangan/ pembilasan *(exhaust stroke).*

Caterpillar *diesel engine* menggunakan prinsip empat langkah karena mempunyai keuntungan sebagai berikut:

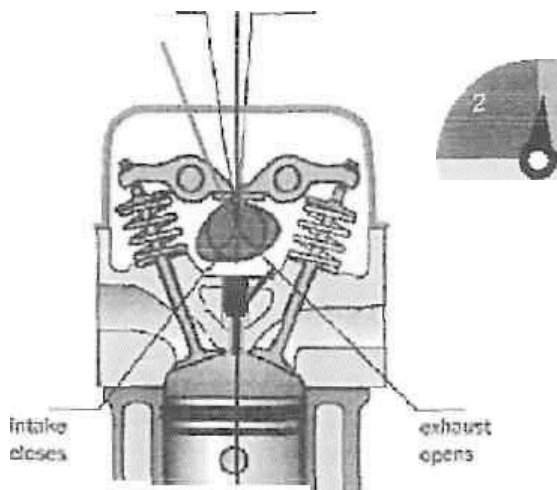
- Tingkat efisiensi tinggi
- Pembakaran lebih sempurna
- Umur komponen panjang
- Pemakaian bahan bakar hemat
- Gas buang bersih
- Suara *engine* relatif lebih halus

Prinsip kerja empat langkah pada *engine diesel* sama dengan *engine* bensin, perbedaannya adaiah pada *engine* bensin yang dikompresikan adaiah campuran udara dan bensin, sedangkan pada *diesel engine* hanya udara yang dikompresikan didalam *cylinder* dan bahan bakar baru diinjeksikan beberapa derajat sebelum langkah kompresi berakhir yang disebut *injection timing*. Terjadinya pembakaran di dalam *cylinder diesel engine* diakibatkan oleh panas yang timbul secara alamiah, karena udara yang dikompresikan, hal ini dapat terjadi karena perbandingan kompresi pada *diesel engine* relatif sangat tinggi.

Gambar 3.7. Awal Langkah pemasukan *(intake stroke)*

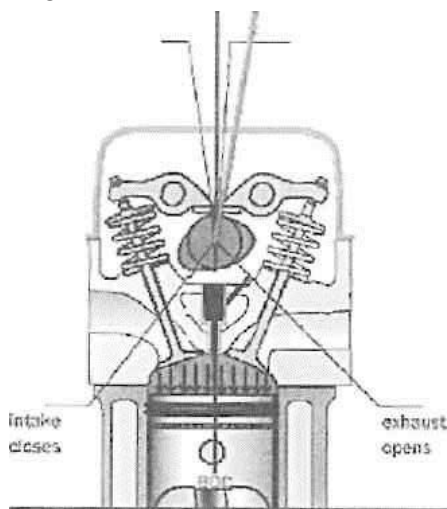
Langkah pemasukan udara *(intake stroke*)
Langkah pemasukan udara kedalam ruang bakar *(intake stroke)* dimulai pada saat *intake valve* secara bertahap membuka beberapa derajat sebelum *piston* mencapai Titik mati atas (TDC).
Pada saat ini *valve exhaust* masih tetap dalam kondisi terbuka. *Exhaust gas* yang terdorong keluar menuju *exhaust manifold* menimbulkan tekanan rendah didalam ruang pembakaran sehingga udara bersih masuk kedalam *cylinder* dari saluran *intake* dan mendorong *exhaust gas* keluar melalui saluran *exhaust*, proses ini disebut dengan proses pembilasan. Proses pembilasan berfungsi untuk mempercepat terbuangnya *exhaust gas* sehingga tidak tersisa lagi didalam silinder.

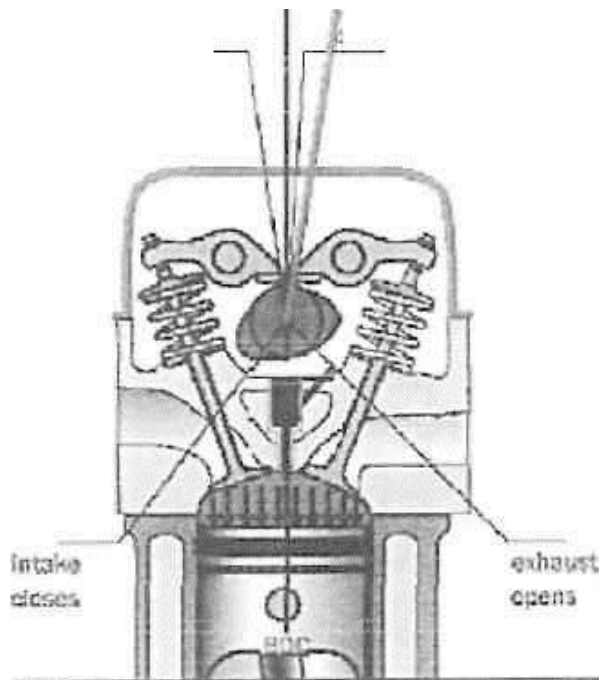
Posisi terbukanya *intake valve* dan *exhaust valve* secara bersamaan disebut dengan *Valve Overlap*. Beberapa derajat setelah *piston* mencapai Titik mati atas (TDC), *valve exhaust* tertutup penuh dan udara bersih yang berasal dari saluran *intake* masih terhisap kedalam silinder.

Gambar 3.8. Akhir langkah pemasukan *(intake stroke)*

Langkah *intake* berakhir saat *valve intake* tertutup beberapa derajat setelah *piston* mencapai Titik mati bawah (BDC). Kecepatan langkah *piston* bergerak pada langkah *intake* akan mempengaruhi jumlah udara yang dapat masuk kedalam silinder yang disebut *efficiency volumetric.*

Derajat pembukaan dan penutupan *valve intake* dan *exhaust engine-engine* Caterpillar tidak dijelaskan secara spesifik, tergantung dari jenis dan rancangannya masing-masing.

Gambar 3.9. Langkah kompresi *(Compression stroke)*

Langkah kompresi *(compression stroke)*

Setelah langkah intake berakhir, *valve intake* dan *exhaust* sama-sama tertutup dan *piston* bergerak menuju TDC. Gerakan *piston* menuju TDC menyebabkan volume ruang bakar semakin mengecil sehingga tekanan udara akan meningkat dan temperature udarapun naik Kenaikan temperature pada langkah kompresi dapat mencapai 1000 °F

Gambar 3.10. Penginjeksian bahan bakar

Beberapa derajat sebelum *piston* mencapai TDC bahan bakar diinjeksikan. Karena temperature udara pada posisi ini sudah sangat tinggi maka bahan bakar yang diinjeksikan akan terbakar sendiri *(self ignited).* Proses pembakaran berakhir di dalam *cylinder* pada 3-5° setelah TDC

Gambar 3.11. Langkah usaha *(Power Stroke)*

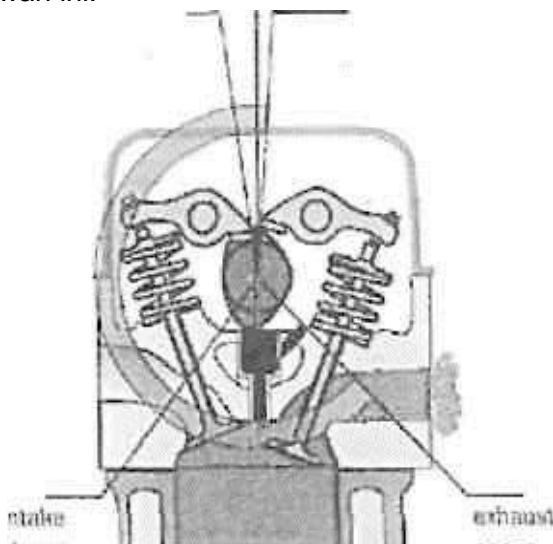
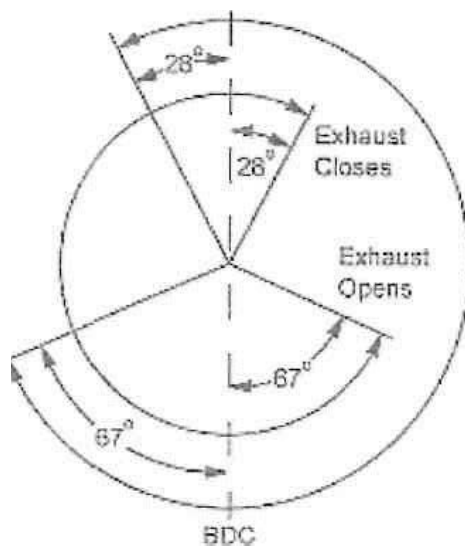
Langkah usaha *(power stroke)*

Setelah bahan bakar terbakar dengan sempurna, tekanan diruang bakar menjadi sangat tinggi, karena pada saat tersebut *intake* dan *exhaust valve* sama-sama tertutup, tekanan tinggi yang dihasilkan mendorong *piston* menuju Titik mati bawah (BDC). Peristiwa ini disebut dengan langkah usaha *(power stroke).* Temperature pada saat pembakaran terjadi dapat mencapai 3000 °F.

Langkah pembuangan *(exhaust stroke)*

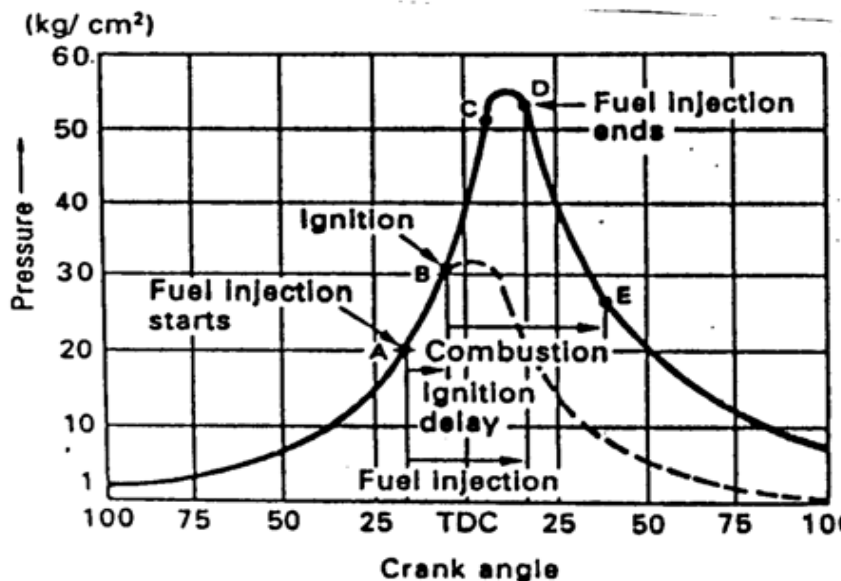
Beberapa derajat sebelum *piston* mencapai BDC pada langkah usaha *(power stroke), valve exhaust* membuka. Pada saat tersebut *exhaust* gas akan mengalir ke *exhaust manifold* dan proses ini berlanjut hingga *piston* bergerak menuju TDC. *Exhaust valve* akan menutup beberapa derajat setelah TDC yaitu pada saat *piston* melakukan langkah hisap.

Exhaust gas yang terdorong keluar dapat mencapai temperature sekitar 600 - 1100° F.

Demikian siklus ini terjadi secara terus menerus pada motor bakar *diesel.* Ilustrasi dari proses kerja *diesel* empat langkah dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Gambar 3.12. Langkah pembuangan *(exhaust Stroke)*

Gambar 3.13. Siklus disel empat

Siklus Pembakaran

Perbandingan Kompresi dan Temperatur Udara dalam silinder dikompre- sikan oleh adanya gerakan naik piston yang menyebabkan temperatur meningkat. Grafik di bawah memperlihat-kan hubungan secara teori antara perbandingan kompresi,tekanan kompresi dan

suhu. Apabila perbandingan kompresi 16, maka tekanan kompresi dan temperatur adalah 30 kg/cm^2 dan 500°C.
Proses pembakaran *engine diesel*

Proses pembakaran pada motor disel dibagi menjadi 4 tahap :

- Saat pembakaran tertunda *(Ignition Delay)*=A–B, tahap di mana bahan bakar yang diinjeksikan baru bercampur dengan udara agar terbentuk campuran yang homogen

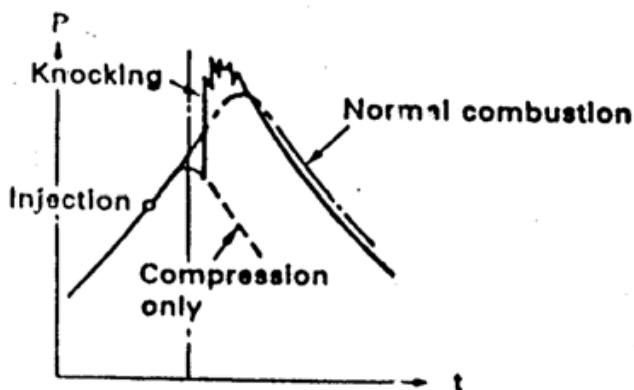
- Saat perambatan api *(Flame propagation)* = B–C Terjadi pembakaran di beberapa tempat yang menyebabkan terjadinya letupan api yang mengakibatkan kenaikan tekanan dan temperatur secara drastis.

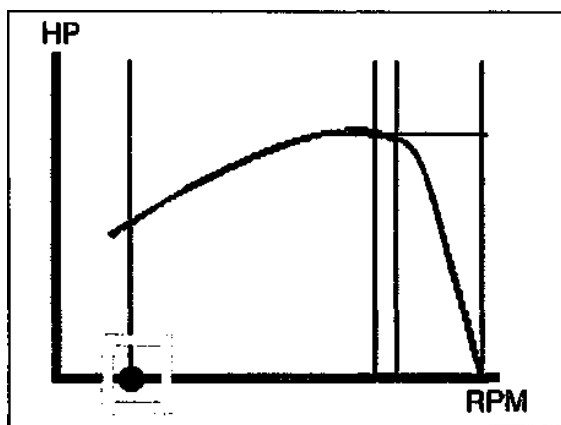
- Saat pembakaran langsung *(Direct Combustion)* = C–D Pada *phase* ini, bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar.

- Saat Pembakaran Lanjut *(After Burning)* = D–E, *Phase* ini membakar sisa campuran bahan bakar dan udara yang belum terbakar

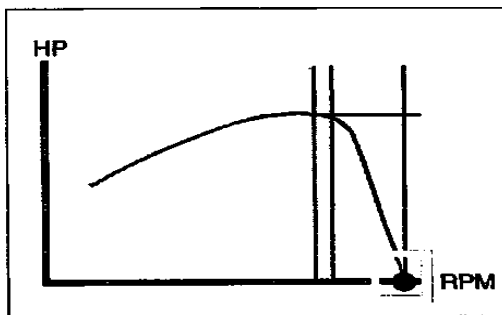
Detonasi (knocking)
Detonasi adalah getaran atau suara ledakan yang ditimbulkan oleh pembakaran yang tidak sempurna. Metoda di bawah ini adalah cara mengatasinya

- Gunakan solar yang angka cetanenya tinggi.

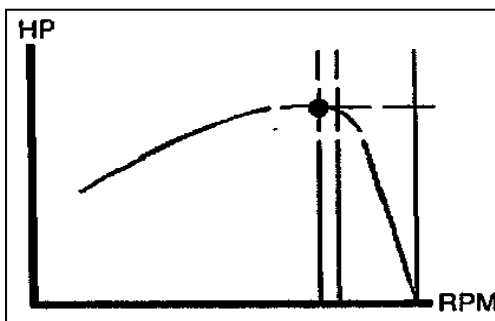
- Menaikkan tekanan dan temperatur udara.
- Mengurangi volume injeksi saat mulai injeksi.
- Menaikkan temperatur ruang bakar

Kondisi operasi *diesel engine*

Governor menentukan rpm *engine* yang tepat untuk beban yang diberikan dan sebuah sistem pengaturan yang memberikan bahan bakar dalam jumlah banyak atau sedikit untuk menghasilkan rpm yang dibutuhkan. Dengan rancangan yang efisien, mekanisme *timing advance* merasakan peningkatan atau penurunan rpm dan mengatur siklus injeksi bahan bakar untuk memulai *burn window* pada derajat rotasi *crankshaft* yang tepat. Bermacam kondisi operasi *engine diesel* didiskusikan dan dijelaskan dengan menggunakan kurva *horsepower*.

Gambar 3.14. Kecepatan *Low Idle*

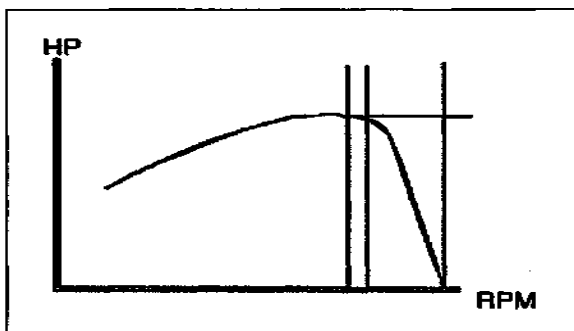
Low Idle

Low idle adalah kecepatan terendah *engine* tanpa beban (Gambar 3.14).

Gambar 3.15. Kecepatan *High Idle*

High Idle

High idle adalah *engine* dengan rpm tertinggi tanpa beban (Gambar 1.15).

Gambar 3.16. *Rated Speed*

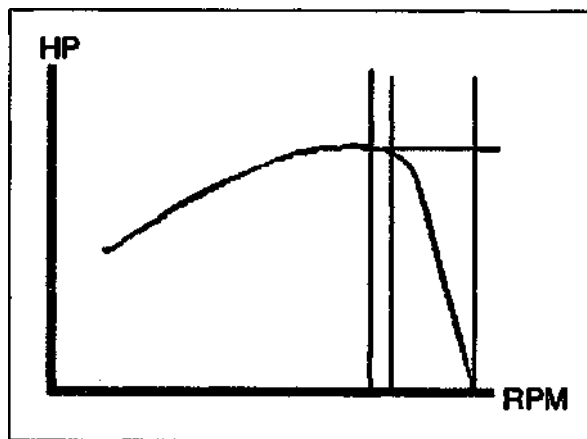
Rated Speed

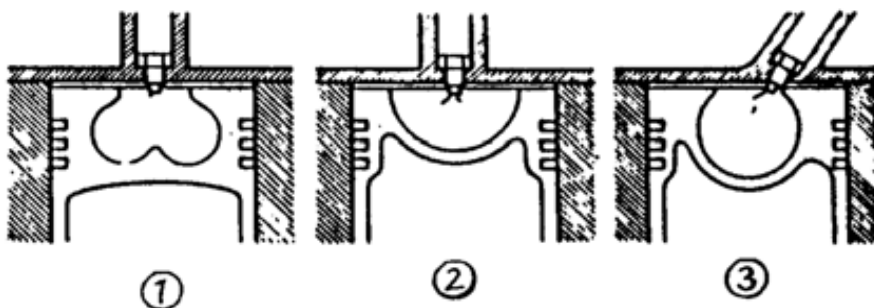
Semua engine diesel diberikan rating kecepatan yang disebut full load pada rated speed. Ini adalah rpm dimana engine beroperasi dengan beban penuh (Gambar 3.16).

Gambar 3.17. *Overspeed*

Overspeed

Terkadang engine beroperasi sedemikian rupa sehingga rpm dipaksa melebihi rpm *high idle* (Gambar 3.17). Hal ini disebut *overspeed* dan pada situasi tertentu dapat menyebabkan kerusakan total pada *engine*.

Lug

Engine diesel dirancang untuk dibebani melebihi kondisi beban penuh (Gambar 3.18). *Governor* atau *Electronic Control Module* (ECM) memungkinkan untuk memberikan bahan bakar maksimum, namun beban yang diterima *engine* sangat tinggi sehingga mampu untuk menurunkan kecepatan *engine*. Pada kondisi ini karena tidak ada lagi penambahan bahan bakar, sehingga *governor* tidak mampu menghasilkan *horsepower* yang dibutuhkan. Kondisi tersebut dikenal dengan istilah *lug.*

Gambar 3.18. *Lug*

Ruang bakar
Macam-macam Ruang Injeksi Langsung

Gambar 3.19. Jenis ruang bakar injeksi langsung

Keterangan gambar:

1. Multi-spherical. *2. Hemispherical.* *3. Spherical*

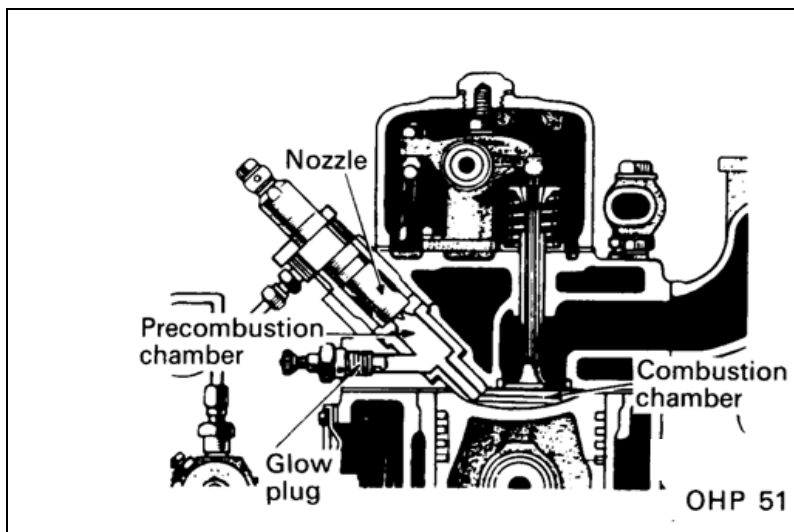
Keuntungan :

- Effisiensi panas tinggi (tidak memerlukan *glow plug*).
- Konstruksi *cylinder head* sederhana.
- Karena kerugian panas kecil, perbandingan kompresi dapat diturunkan.

Kerugian :

- Pompa injeksi harus menghasilkan tekanan yang tinggi.
- Kecepatan maksimum lebih rendah.
- Suara lebih besar (berisik).
- Bahan bakar harus bermutu tinggi

Tipe Injeksi Tidak Langsung *(Indirect Injection)*

Bahan bakar disemprotkan oleh *injection nozzle* ke *pre-combustion chamber*. Sebagian akan terbakar di tempat dan sisanya yang tidak terbakar akan dibakar habis di ruang bakar utama *(main chamber).*

Gambar 3.20. Ruang bakar kamar depan injeksi tidak langsung

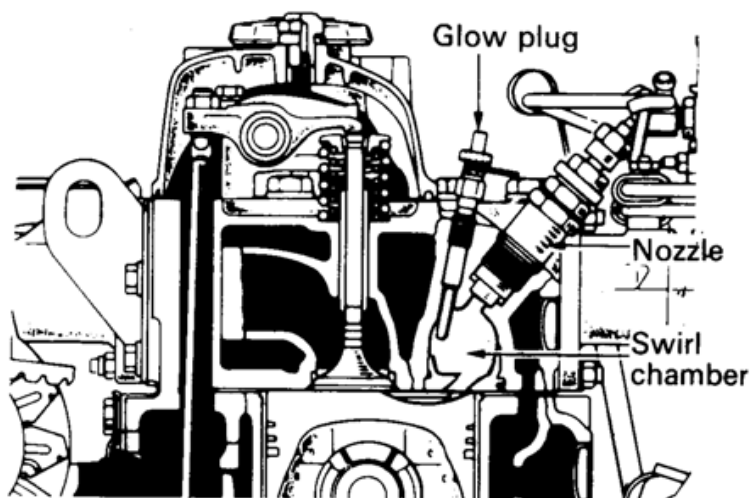
Tipe ruang rabar yang digunakan pada injeksi tidak langsung umumnya adalah:

Tipe Kamar Depan.

Keuntungan:

- Pemakaian bahan; bakar lebih luas;
- *Detonasi* dapat dikurangi karena menggunakan injektor tipe *throttle* dan ;
- *Engine t*idak terlalu peka terhadap perubahan timing injeksi.

Kerugian:

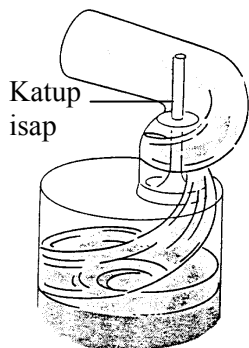
- *Cylinder head* rumit dan biaya pembuatan mahal;
- Memerlukan *glow plug* dan ;
- Pemakaian bahan bakar lebih boros.

Gambar 3.21. Ruang bakar kamar pusar injeksi tidak langsung

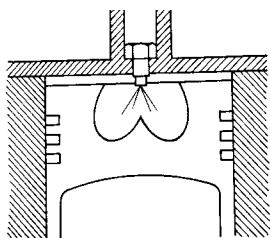
Tipe Kamar Pusar *(Swirl Chamber Type)*
Kamar pusar mempunyai bentuk *spherical*. Udara yang dikompresikan *piston* memasuki kamar pusar dan membentuk aliran *turbulensi.*
Sebagian akan terbakar di tempat dan sisanya yang tidak terbakar akan dibakar habis di *main combustion chamber*
Keuntungan:

- Kecepatan engine tinggi;
- Gangguan pada *nozzle* (tipe pin) lebih kecil dan ;
- Operasi *engine* lebih halus.

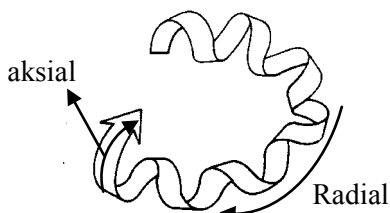
Kerugian:

- Konstruksi *cylinder head* rumit;
- Effisiensi panas rendah;
- Menggunakan *glow plug* dan ;
- *Detonasi* lebih mudah terjadi.

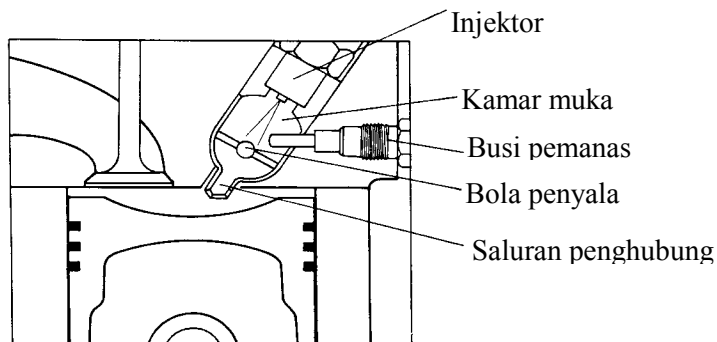
Penyebaran pembakaran pada motor disel membutuhkan perpusaran yang diperoleh dari bentuk ruang bakar yang memungkinkan terjadinya pusaran agar proses pembakaran dapat berlangsung secara cepat. Pusaran tersebut terjadi pada setiap proses seperti contoh di bawah ini:

Selama langkah isap

Saluran hisap dikonstruksi sedemikian rupa, supaya terjadi pusaran radial

Selama langkah kompresi

Sewaktu torak mendekati TMA udara ditekan kedalam ruang bakar, sehingga terjadi putaran arah aksial

Gambar 3.22.
Pusaran pembakaran

Hasil pada saat penyemprotan

Udara yang berputar (pusaran radial dalam ruang bakar, dalam waktu yang bersamaan terjadi

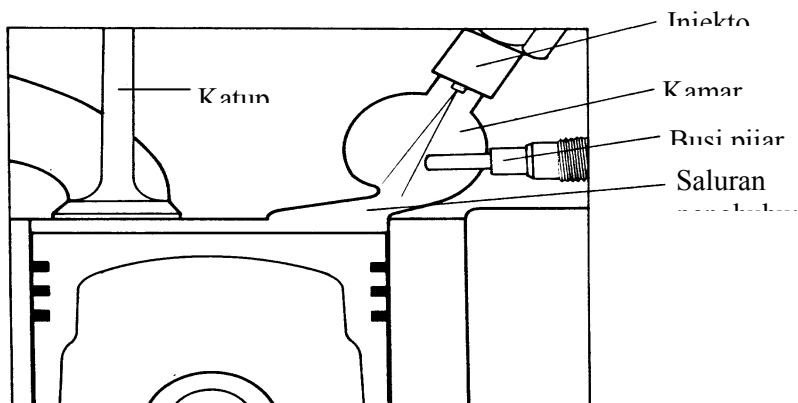
Cara kerja ruang bakar tipe kamar muka.
Pada langkah kompresi, sebagian besar udara ditekan kedalam kamar muka, kemudian bahan bakar disemprotkan terhadap bola penyala. Bagian tersebut.terikat dengan penyambung yang relatif tipis, maka menjadi sangat panas selama motor hidup. Oleh karena itu, dengan cepat.akibat pembakaran, sebagian bahan bakar ditiup ke luar dari kamar muka dan ikut terbakar dengan udara yang masih di dalam silinder.

Gambar 3.23. Bagian-bagian kamar muka

Catatan

- Saat ini sistem tersebut hanya digunakan Mercedes – Benz
- Memerlukan injektor jenis nozel pasak dengan bentuk penyemprotan khusus, tekanan pembukaan nozel 110–150 bar/ 11–15 Mpa
- Memerlukan sistem pemanas mula untuk menghidupkan motor, bila suhunya lebih rendah dari $\pm$ 50^0 C

Cara kerja ruang bakar tipe kamar pusar

Pada langkah kompresi, sebagian besar udara ditekan kedalam kamar pusar. Udara menerima pusaran yang sangat cepat, karena saluran penghubung yang menuju secara kedalam kamar pusar.dikontruksi miring/tangensial.

Akibatnya bahan bakar yang disemprotkan cepat menguap dan menyalakan diri. Dari hasil pembakaran sebagian bahan bakar ditiup ke luar dari kamar pusar dan ikut terbakar dengan sisa udara yang masih di dalam silinder.

Catatan

- Kebanyakan motor kecil–sedang menggunakan sistem ini

- Menggunakan injektor nozel pasak dengan tekanan pembukaan nozel, 110–150 bar/11–15 Mpa

Jika kondisi motor baik, sistem pemanas mula hanya perlu pada temperatur di bawah 25^0 C

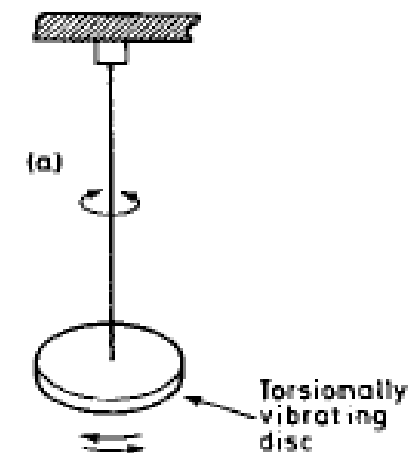
Tekanan gas

Kompresi dan pembakaran dalam silinder menghasilkan gaya yang menggerakkan fungsi *piston*, lalu batang penghubung yang menggerakkan poros engkol. Sebetulnya tekanan tersebut bekerja untuk menjalankan poros engkol, dimana ketika *piston* turun ke silinder, gaya yang ada berusaha untuk memutar poros engkol. Pulsa yang muncul dari gaya gas dan gaya kelembaman menghasilkan vibrasi yang mengganggu struktur *engine*. Vibrasi ini sangat mempengaruhi bantalan utama.

Vibrasi torsi

Barangkali orang akan kesulitan untuk memperbaiki poros engkol pada sebuah bengkel. Dalam dunia kerja, tidak peduli bagaimana besar dan sulitnya menanganinya, apabila kita akan mencoba untuk menjalankannya, kita harus menjalankannya ketika *engine* menyala.

Vibrasi torsi mungkin akan lebih mudah untuk dipahami dengan menggunakan sebuah pendulum torsi yang sederhana. Piranti ini terdiri atas sebuah cakram logam yang di poros tengahnya ada kawat. Dimana ujung bagian atas kawat tersebut *rigid* sifatnya, sebagaimana yang ada dalam Gambar 3.25.

Jika sebuah gaya puntir diberikan pada cakram dan kemudian dilepaskan secara tiba-tiba, gaya tersebut akan membuat cakram berputar ke arah asalnya. Akibat dari gaya kelembaman yang ada pada cakram, maka cakram akan berputar melebihi tempat asalnya berada dan kemudian membuat gaya yang berusaha untuk mengembalikan ke posisi semula, namun arahnya berlawanan.

Gambar 3.25. Vibrasi torsi

Vibrasi atau osilasi ini akan berjalan terus dalam sebuah frekuensi yang tetap, namun besaran amplitudonya, sampai vibrasi torsi yang ada pada cakram makin mengecil atau hilang. Istilah frekuensi dalam hal ini merujuk pada sebuah besaran vibrasi per detik. Jika gaya puntir dilakukan berkali-kali, pendulum tersebut akan bergerak dalam vibrasi torsi yang kontinu. Amplitudo osilasi cakram akan bergantung pada frekuensi gaya puntir, dan frekuensi normal pendulum.

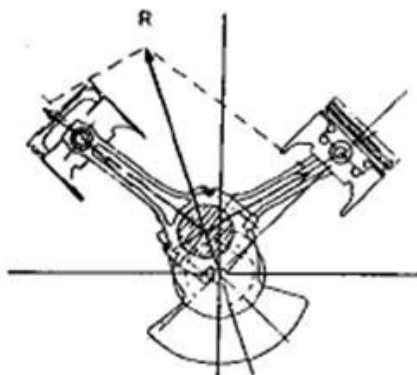
Frekuensi dimana sebuah poros engkol akan bervibrasi bergantung pada massa dan kekerasan/kekuatan torsi. Frekuensi normal sebuah poros engkol dapat ditingkatkan melalui pendesainan yang sependek mungkin.
Gaya yang mengganggu pada poros engkol berasal dari pulsasi gas dan gaya kelembaman yang bekerja pada *piston*, batang penghubung dan kombinasi pen engkol.

Perancangan keseimbangan
Pertimbangan mendasar dalam merancang sebuah poros engkol adalah:

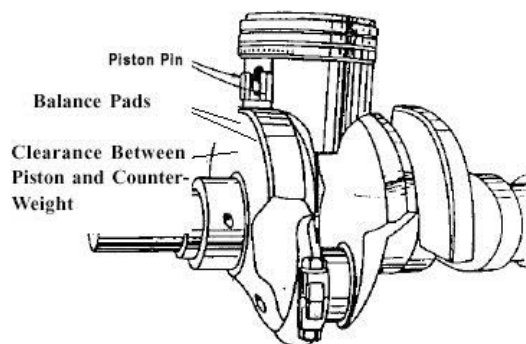
- Kekuatan
- Rigiditas
- Keseimbangan

Secara komparatif orang akan lebih mudah melakukan analisis matematis untuk merancang kekuatan poros engkol, sehingga ia akan dengan mudah mampu menyediakan materi yang kekuatannya memenuhi syarat perhitungan. Namun kita akan lebih kesulitan untuk merancang keseimbangan poros engkol.
Setelah dimensi/ukuran dasar sebuah poros engkol ditentukan, kemudian perancangan terhadap keseimbangannya dipikirkan. Hal tersebut melibatkan pertimbangan ukuran, bobot, dan lokasi bobot penyeimbang.

Pemberian bobot penyeimbang diperlukan untuk menyeimbangkan gerakan rotasi dan bolak-balik *piston*/batang penghubung, dan pen engkol. Perancang harus memahami bobot dari masing-masing komponen atau materi yang ada dalam rangkaian/*assembly*, dan fungsi apa yang dikerjakan oleh komponen-komponen atau materi selama proses perotasian poros engkol berlangsung.

Sesudah faktor-faktor tersebut dikalkulasi, analisis vektor dilakukan guna menentukan hasil gaya sentrifugal dan kelembaman dari akumulasi gaya bolak-balik dan rotasi. Analisis vektor menentukan posisi sebuah titik dengan titik lain yang berhubungan.

Gambar 3.26.Gaya resultan mesin V8

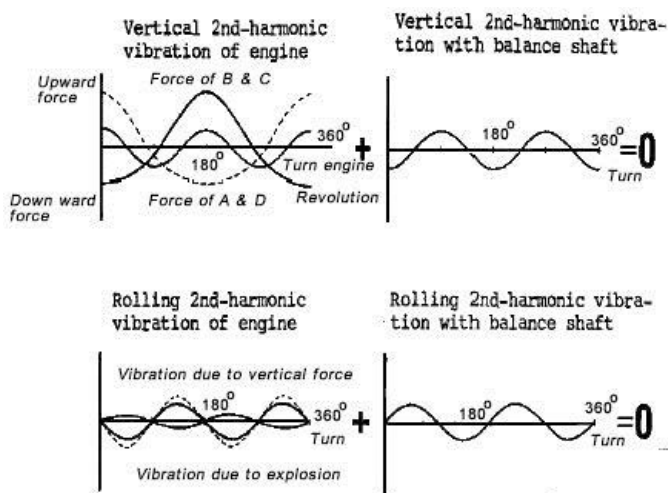
Gaya ini timbul akibat gerakan dua *piston* dan batang-batang penghubung yang ada pada sebuah pen engkol. Dimana dalam hal ini mengakibatkan munculnya gaya ketidak seimbangan yang harus dibetulkan melalui pemberian bobot penyeimbang. Penentuan posisi, bentuk, dan massa/berat bobot penyeimbang disebut dengan perancangan keseimbangan poros engkol.

Salah satu ukuran/dimensi yang harus ditentukan pada bobot penyeimbang adalah radiusnya. Dimana radiusnya harus dibuat kecil untuk menghindari bersentuhannya komponen tersebut dengan komponen-komponen lainnya, misalnya bubungan poros/*cam shaft*, blok silinder, namun massa/bobotnya harus cukup mampu menghasilkan gaya yang setara dengan gaya yang ditimbulkan oleh gaya rotasi dan bolak-balik. Gambar 3.26 menunjukan jarak antara *piston* dan penyeimbang. Pada banyak *engine, piston* dibuat besar di bagian atas dan bawah, namun kecil di bagian tengahnya agar celah atau jarak tersebut ada.

Gambar 3.27. Gaya rotasi dan bolak-balik

Poros keseimbangan

Komponen penyeimbang rotasi yang ada pada *engine* tercapai melalui penyebaran bobot/massa secara radial di sekitar sumbu komponen yang berotasi. Akumulasi gaya bolak-balik menciptakan ketidak seimbangan yang harus di atasi melalui perancangan *engine*.

Sebuah *engine* 4 silinder memiliki reaksi momen puntir yang timbul dari pembakaran dan kompresi mekanisme *piston*. Reaksi ini melakukan akselerasi dan retardasi rotasi poros engkol dan dalam pengarahan rotasi hal ini dikenal dengan istilah vibrasi harmonis vertikal kedua.

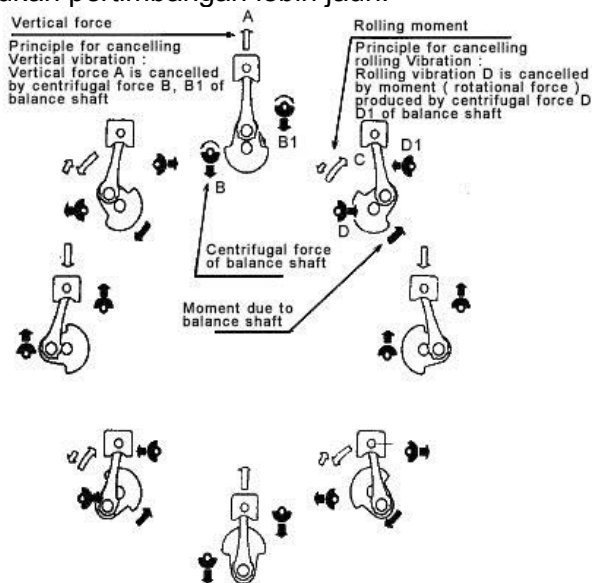
Sebagai tambahan, akibat adanya naiknya batang penghubung, maka gaya vertikal akan muncul yang dihasilkan oleh perubahan *piston* secara simultan pada sebuah momen gulung/*rolling*. Hal ini mengacu pada vibrasi harmonis vertikal kedua momen gulung/*rolling*. Gambar 3.28, menunjukkan bagaimana momen vertikal dan gulung dapat dicegah melalui pemakaian poros penyeimbang.

Gambar 3.28. Momen vertikal dan *rolling*

Keterangan gambar:
vertical force=gaya vertical; kalimat yang ada di bawahnya= Prinsip penggagalan vibrasi vertikal: gaya vertikal A digagalkan oleh gaya sentrifugal B, B" pada poros keseimbangan; momen gulung; kalimat yang ada di bawahnya= prinsip penggagalan vibrasi gulung: vibrasi gulung C digagalkan oleh momen (gaya rotasional) yang dihasilkan oleh gaya sentrifugal D, D" poros keseimbangan.

Poros-poros penyeimbang yang dipasang pada setiap sisi poros engkol, diputar 2 kali lebih kecil daripada kecepatan rotasi poros engkol. Dimana satu sama lainnya arah putarannya berlawanan.

Sejumlah pabrik yang membuat *engine* empat silinder yang besar, termasuk Porsche dan Mazda menggunakan sistem tersebut di atas yang dipelopori oleh Mitsubishi.

Sejumlah *engine* V6 dipasang poros keseimbangan untuk membantu kehalusan dan kelancaran operasional *engine*. Poros keseimbangan diputar pada arah yang berlawanan dengan poros engkol, namun kecepatannya sama.

Konfigurasi tersebut menggagalkan ketidak seimbangan primer, namun ketidak seimbangan sekunder masih ada. Untuk menyeimbangkan gaya kelembaman sekunder, diperlukan piranti peralatan lain, dimana hal ini jarang dilakukan, dan jika dilakukan memerlukan pertimbangan lebih jauh.

Gambar 3.29. Poros keseimbangan poros engkol

Peredam vibrasi torsi

Ketika memaparkan vibrasi torsi, diasumsikan bahwa gaya-gaya pengganggu lain, penurunan dan vibrasi yang hilang dianggap tidak ada. Hal ini dikarenakan dalam hal ini ada gesekan internal yang ada di dalam material *spring*/per itu sendiri, dan efek peredaman gesekan udara pada permukaan pada komponen-komponen osilatif.

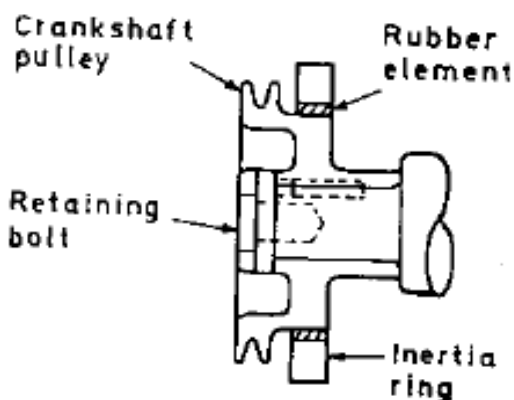
Gesekan internal atau kapasitas peredaman pada sebuah material yang berhubungan dengan energi vibrasi diserap dan kemudian dibuang dalam bentuk panas.
Efek peredaman yang lebih jauh lagi yang ada pada operasional poros engkol adalah energi yang diserap dan dibuang dalam bentuk panas melalui pemberian lapisan minyak yang melumasi permukaan poros engkol, batang penghubung, dan bantalan *piston.*

Tiga tipe peredam vibrasi torsi yang biasa ditemui dalam dunia otomotif adalah:

- Slipper/penyelip
- Karet
- Keras

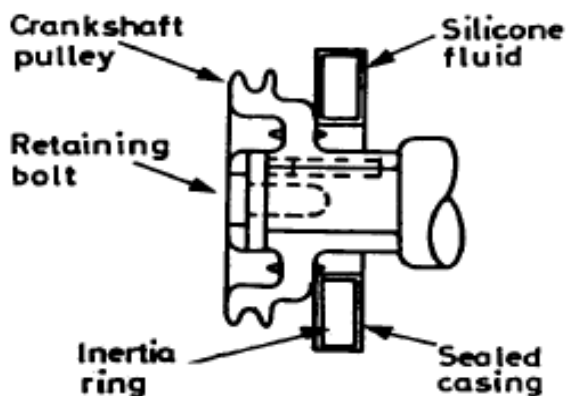
Peredam penyelip/slipper
Tipe peredam ini merupakan suatu piranti yang digunakan untuk memisahkan dua massa kelembaman secara friksional. Satu buah peredam dipasang pada poros engkol, dan yang lain biasanya merupakan sepasang roda penerus yang kecil. Roda penerus tidak dipasang pada poros engkol. Mereka adalah mekanisme yang dipasang secara terpisah dari permukaan gesek hub peredam. Hub tersebut secara rigid dipasang pada poros engkol.

Normalnya roda penerus berotasi secara harmonis dengan poros engkol, namun bisa saja peredam-peredam tersebut *terselip* pada poros engkol, dimana momen puntir yang menahan gerakan benar-benar terjadi. Pin setangkup/*dowel pin* mencegah gerakan yang ada pada di antara kedua roda penerus, dimana pada saat yang bersamaan menimbulkan gerakan di sepanjang sumbu yang berada di bawah pengaruh pembebanan.
Kinerja peredam slipper tidak selamanya konsisten, yang akibat dari permukaan-permukaannya yang terus-terusan bergesekan.

Peredam karet
Sebuah peredam karet memisahkan dua massa kelembaman secara friksional maupun elastis. Sebuah roda penerus yang kecil atau “cincin kelembaman” dipasang pada hub dengan sebuah cincin karet pra-kompresi (Contohnya adalah cincin kelembaman yang terpasang pada hub). Ukuran cincin kelembaman dan kondisi karet (kekerasannya) dirancang untuk mampu meredam frekuensi normal poros engkol sebesar 80% – 90%.

Gambar 3.30. Peredam frekwensi normal

Keuntungan pemakaian peredam jenis ini adalah materi tersebut memiliki berbagai pilihan jenis karet yang beragam dan biayanya rendah.

Peredam keras

Piranti ini terdiri atas roda penerus yang dipasang pada sebuah ruang kedap udara. Ruang tersebut dipasang pada poros engkol melalui sebuah hub yang didudukkan (Gambar 3.31).

Gambar 3.31. Ruang kedap udara

Cincin kelembaman dipisahkan secara keseluruhan dari ruang tersebut melalui pemasangan lapisan tipis fluida yang keras. Fluida ini biasanya merupakan sejenis silikon yang memiliki viskositas tinggi pada suhu yang tinggi. Silikon tersebut berupaya untuk membuat ruang kedap udara dan cincin kelembaman berotasi secara harmonis.

Operasional peredam vibrasi torsi

- Slipper
  Ketika sebuah vibrasi yang sangat mengganggu terjadi, akibat dari gaya kelembaman yang ada mengikuti osilasi torsi poros engkol. Penyelipan terjadi diantara cakram yang bergesekan dengan permukaan roda penerus. Peredam dalam hal ini bertindak sebagai sebuah kopling penyelip. Energi hasil gesekan diserap dan dibuang dalam bentuk panas, sehingga mengurangi energi yang ada dalam poros engkol yang mengalami vibrasi. Peredam slipper hanya dapat efektif pada frekuensi vibrasi tertentu yang ada di bawah pengaruh pembeban per, karena itu momen puntir penyelip harus sudah ditentukan terlebih dahulu besarannya.

- Karet
  Operasional peredam karet lebih rumit daripada peredam slipper. Selain sebagai peredam piranti ini juga berfungsi sebagai "Detuner". Pada awal vibrasi besar yang terjadi, cincin kelembaman bertindak seperti yang dilakukan oleh roda penerus pada sebuah peredam penyelip, namun, lapisan karetnya memuntir ke belakang dan ke depan. Energi getar yang berasal dari vibrasi poros engkol kemudian diserap dan dibuang dalam bentuk panas. Sebagai sebuah detuner, cincin kelembaman peredam karet membentuk sebuah sistem pengarah per dengan frekuensi vibrasi yang dimilikinya sendiri. Lapisan karet kemudian mencegah getaran torsi. Dengan melakukan pen*tuning*an karakteristik peredam karet, cincin kelembaman dapat digunakan untuk melakukan anti fasa pada osilasi torsi poros engkol, sehingga mampu melawan getaran yang ada.

- Keras
  Roda penerus peredam dimasukkan ke dalam tempatnya dan berputar secara harmonis dengan poros engkol sampai vibrasi torsi terjadi. Pada saat vibrasi torsi membesar, roda penerus tidak dapat mengimbangi osilasi cepat yang dimiliki oleh poros engkol. Osilasi cepat menghasilkan gaya yang membuat fluida silikion memisahkan roda penerus dari tempatnya. Dengan demikian, energi yang berasal dari vibrasi poros engkol dan peredam memindahkannya ke dalam bentuk energi panas.

Keseimbangan statis dan dinamis

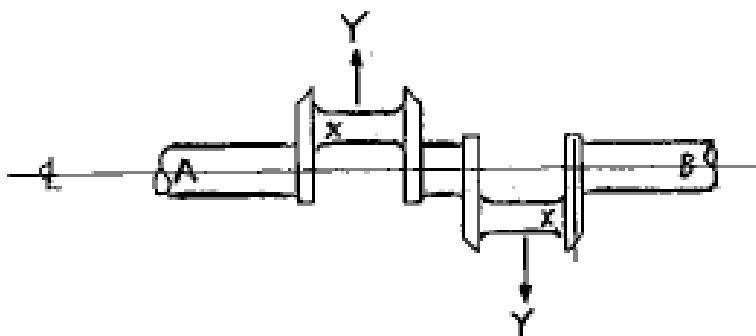
- Keseimbangan Statis
  Ketidak seimbangan rotasi meningkat sejalan dengan peningkatan rotasi komponen yang ada pada engine**.** Gaya

sentrifugal akan muncul, dimana gaya tersebut berasal dari ketidak seimbangan yang semakin meningkat. Ketika kecepatan rotasi meningkat sebanyak dua kali lipat dari sebelumnya, efek vibrasi yang mengganggu akan meningkat empat kali lipat (pangkat dua daripada kecepatan gaya sentrifugal sebelumnya), sehingga poros engkol harus disesuaikan sedemikian rupa agar kondisinya tetap memiliki keseimbangan statis.

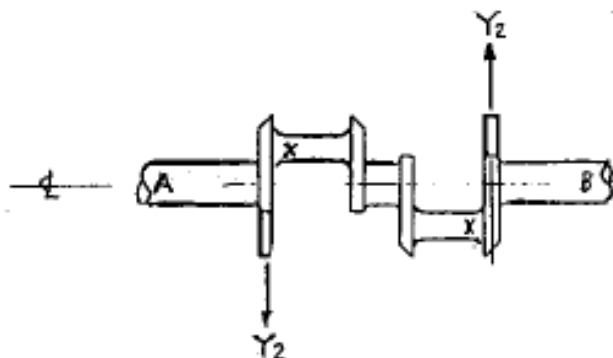
Keseimbangan statis diperoleh ketika pusat gravitas ada pada sumbu rotasi poros engkol. Kondisi ini dapat dicapai melalui pemberian dukungan penopangan pada kedua jurnal bantalan utama pada kedua ujung pisau. Bagaimanapun posisi poros engkol, piranti tersebut tidak boleh bergerak atau berayun sebelum waktunya.

- Keseimbangan Dinamis

  Sebuah poros engkol multi silinder bisa jadi berada dalam keadaaan keseimbangan statis, namun tidak memiliki kondisi keseimbangan dinamis. Dalam keseimbangan statis, kita berusaha mengatasi berbagai gaya pengganggu, namun dalam keseimbangan kita berupaya mengatasi *couples*. *Couples* adalah gaya yang bertentangan yang ada pada permukaan yang sama. Sebuah couple yang tidak seimbang dapat menimbulkan goncangan pada poros engkol, dan pada *engine* secara keseluruhan.

  Misalnya, sebuah pen engkol diletakkan secara horisontal berlawanan dengan silinder kembar poros engkol yang ada rotasi sumbunya berlawanan. Pendistribusian massa-massa yang ada secara simetris tersebut menghasilkan keseimbangan statis yang sempurna.

Gambar 3.32. Keseimbangan statis

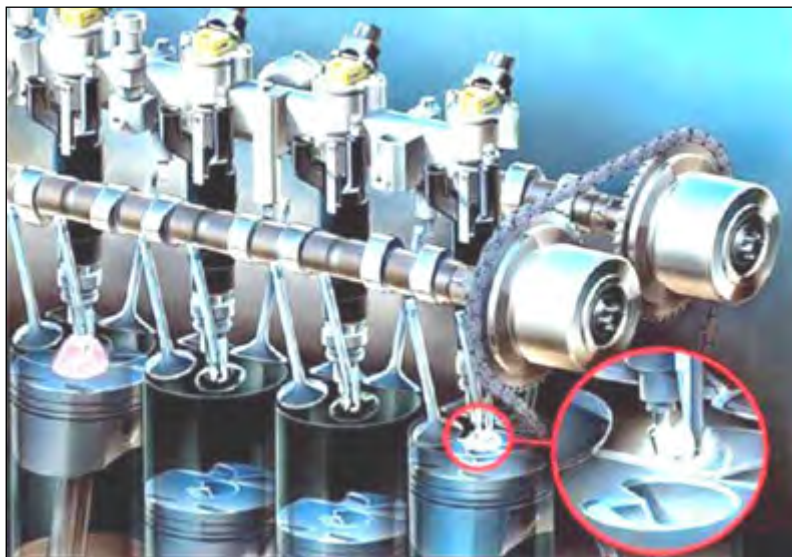
Ketika berotasi, jarak antar pen engkol menghasilkan couple goncangan akibat gaya sentrifugal muncul pada arah Y. Untuk

mencapai keseimbangan dinamis, orang perlu memberikan couple yang besarannya sama, namun berlawan arahnya pada permukaan yang tidak seimbang.

Gambar 3.33. Keseimbangan pada poros engkol

Dengan mengembangkan pipi engkol yang ada di ujung-ujung pen engkol pada arah yang berlawanan, gaya yang ada pada “Y2” akan mengimbangi gaya yang ada pada “Y”, dan poros engkol akan berada dalam kondisi keseimbangan dinamis. Keseimbangan statis yang ada pada sebuah poros engkol tidak selalu menghasilkan keseimbangan dinamis, namun keseimbangan dinamis pada sebuah poros engkol selalu menghasilkan keseimbangan statis pada piranti tersebut

Ruang bakar disel *engine*

Ruang bakar yang terdapat pada mesin disel sangat penting dalam usaha kesempurnaan proses pembakaran yang terjadi pada akhir langkah kompresi. Proses pembakaran harus terjadi secepat mungkin sehingga dapat dicegah *delay period* yang besar.

Ruang bakar akan sangat tergantung dari desain *engine* khususnya desainkepala silinder, torak maupun katup

Gambar 3.34. Ruang bakar

Jumlah bahan bakar juga penting karena semakin banyak bahan bakar semakin besar tenaga yang dihasilkan. Bila disemprotkan ke ruang tertutup, dengan udara yang mencukupi, sejumlah bahan bakar dapat menghasilkan panas dan gaya yang besar.

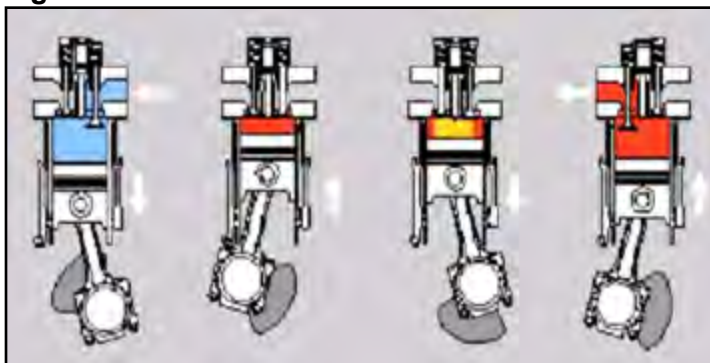
Lebih banyak bahan bakar = Lebih besar tenaga yang dihasilkan

Pada *engine* bensin atau gas *engine*, tekanan udara tidak menghasilkan panas yang cukup agar pembakaran dapat terjadi. Karenanya diperlukan *spark plug* (busi) untuk menyalakan campuran bahan bakar dan udara, untuk menghasilkan pembakaran.

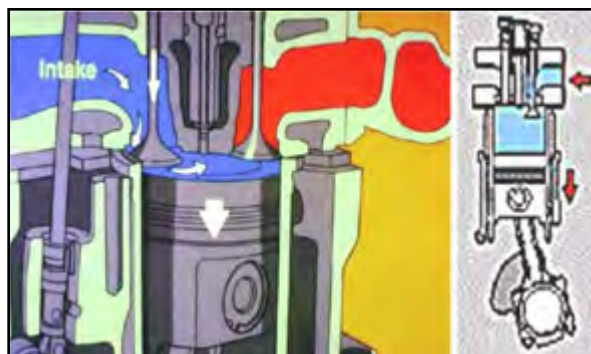
Engine bensin dan gas *engine* dirancang agar campuran udara dan bahan bakar dapat masuk kedalam *cylinder* pada langkah isap. Untuk menghindari agar campuran tidak terbakar dengan sendirinya dan pembakaran yang tidak terkendali, perbandingan kompresi pada *engine-engine* jenis ini sengaja dibuat lebih rendah dari *engine diesel*. Pada *engine diesel*, udara dimampatkan di dalam ruang bakar sampai cukup panas agar dapat menyalakan bahan bakar. Bahan bakar lalu disemprotkan kedalam ruang bakar yang panas dan pembakaran pun terjadi, memungkinkan proses pembakaran yang terkendali.

Pada kedua jenis *engine*, pembakaran menghasilkan energi panas yang menyebabkan gas yang terperangkap dalam ruang bakar, mengembang dan mendorong *piston* ke bawah dan menggerakkan komponen-komponen mekanikal lainnya.

Piston dan *connecting rod* bergerak naik dan turun yang disebut gerakan *reciprocating*. *Connecting rod* memutarkan *crankshaft* yang mengubah gerakan *reciprocating* menjadi gerak putar, yang disebut gerakan *rotation*. Itulah proses bagaimana *engine* merubah energi panas hasil pembakaran menjadi energi yang dapat melakukan kerja.

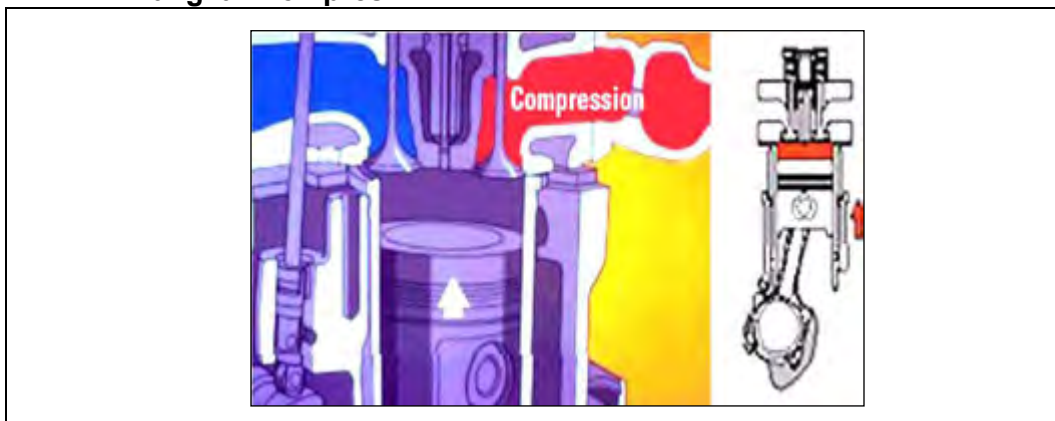
Siklus 4-Langkah

Gambar 3.35. Prinsip kerja disel 4 langkah

Kebanyakan *engine diesel* bekerja menggunakan siklus 4-langkah (Gambar 3.35). Hal ini karena mesin 4 langkah memeiliki suatu siklus kerja yang dilakukan secara teratur untuk setiap langkah. Engine 4 langkah sangat populer digunakan karena memiliki kelebihan terutama masalah volusi gas buang yang dapat dikendalikan dengan baik. Terdapat beberapa pengecualian untuk penggunaan mesin dengan siklus 2 langkah yang masih digunakan oleh beberapa pabrik pembuat *engine*, namun secara bertahap hanya akan diproduksi untuk aplikasi *engine* berkecepatan putar tinggi.

Langkah Isap

Gambar 3.36. Langkah Isap

Siklus dimulai dengan langkah isap (Gambar 3.36)

Intake valve membuka dan *exhaust valve* menutup. *Piston* mulai bergerak turun, menghasilkan tekanan vakum pada *cylinder*. Udara terhisap masuk ke *cylinder*. *Crankshaft* berputar 180^{o}, dan *exhaust valve* tetap menutup.

Langkah kompresi

Gambar 3.37. Langkah Kompresi

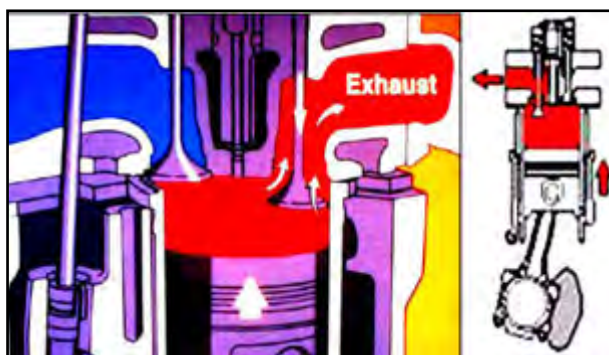
Selama langkah kompresi (Gambar 3.37), *intake valve* menutup, menyekat ruang bakar. *Piston* bergerak naik sampai titik teratas pada *cylinder*, yang disebut Titik Mati Atas (TMA) atau *top dead center* (TDC). Tekanan udara yang terperangkap dalam *cylinder* akan naik dan suhunya menjadi panas. Dimana panas inilah yang akan digunakan untuk membakar bahan bakar yang akan disemprotkan oleh injektor.

Sekarang, *crankshaft* sudah berputar sejauh 360^{o}, atau satu putaran penuh.

Langkah Tenaga

Gambar 3.38. Langkah Usaha

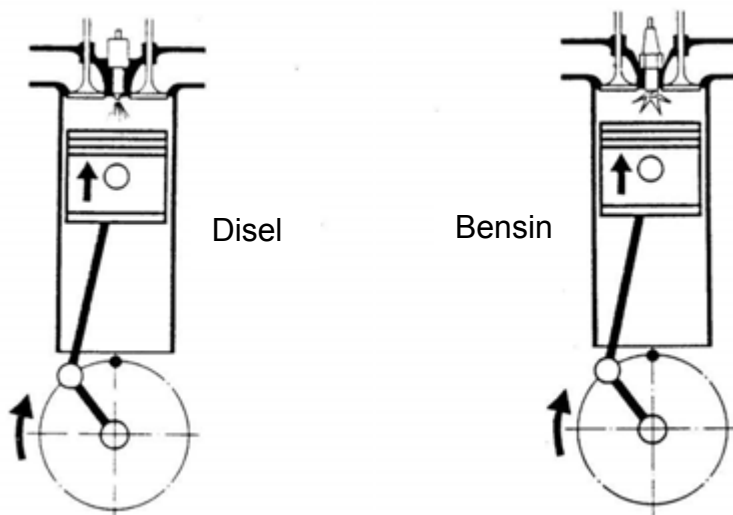
Intake dan *exhaust valve* tetap menutup untuk menyekat ruang bakar. Bahan bakar disemprotkan beberapa derajat sebelum titik mati atas pada langkah kompresi. Panas dari udara yang ditekan akan menyalakan bahan bakar (Gambar 3.38), sehingga proses pembakaran dimulai. Energi panas, yang dihasilkan pembakaran, bekerja mendorong *piston* kebawah dan mulailah langkah tenaga. Hal ini menyebabkan *connecting rod* berputar sebesar 180^{o}, artinya sekarang *crankshaft* telah berputar satu setengah putaran sejak siklus dimulai.

Langkah Buang

Gambar 3.39. Langkah Buang

Langkah buang (*exhaust stroke*, Gambar 3.39) merupakan langkah terakhir dari siklus pembakaran. *Exhaust valve* membuka dan piston bergerak naik dan mendorong gas hasil pembakaran keluar dari *cylinder*. Beberapa derajat sebelum titik mati atas, *exhaust valve* menutup, *intake valve* membuka dan siklus dimulai lagi. *Crankshaft* berputar dua kali 180^{o} untuk proses satu kali siklus.

Mengingat satu siklus terdiri dari empat langkah *piston*, maka siklus ini disebut siklus 4-langkah. *Engine Caterpillar* menggunakan siklus empat langkah dan urutan dimana berlangsung langkah power atau pembakaran disebut firing order.
Sebagai contoh, *firing order* untuk *engine* 3406E adalah 1-5-4-6-2-3, dengan urutan *cylinder* no 1 di depan dan nomor 6 di bagian belakang *engine*.

Keunggulan Desain *Diesel*
Perbedaan *engine* gas atau *engine* bensin
Engine bensin ataupun gas juga menggunakan prinsip kerja 4 langkah, namun terdapat beberapa perbedaan.

- Tidak Memerlukan Busi

Gambar 3.40. Mesin disel dan bensin

Perbedaan yang mencolok adalah *engine diesel* (Gambar 3.40) tidak memerlukan busi untuk pengapian, tetapi menggunakan panas dari udara bertekanan yang cukup tinggi yang akan menyalakan bahan bakar saat disemprotkan.
Pada *engine* bensin atau gas (Gambar 3.41), tekanan udara tidak cukup tinggi untuk menyebabkan agar proses pembakaran terjadi. Busi (*spark plug*) akan menyalakan campuran bahan bakar dan udara.

Rancangan ruang bakar berbeda

Gambar 3.41. Ruang bakar disel dan bensin

Menghasilkan kerja lebih besar pada RPM rendah
Perbedaan utama lainnya adalah jumlah kerja *engine diesel* pada RPM rendah. Normalnya *engine diesel* beroperasi pada rpm 800 – 2200 dan menghasilkan torsi dan tenaga lebih besar untuk melakukan kerja.

Ini dikarenakan *cylinder engine diesel* terisi udara, sementara *engine* gas ataupun bensin terisi dengan campuran udara dan bahan bakar. Karenanya pada *engine* bensin ataupun gas mengandung oksigen yang relatif sedikit dan hanya bisa membakar bahan bakar sedikit saja dibandingkan ukuran yang sama pada *engine diesel*.

Pada umumnya *engine diesel* lebih effisien bahan bakar untuk menghasilkan tenaga dibandingkan *engine* bensin dan lebih berat karena harus bertahan pada suhu dan tekanan yang tinggi.

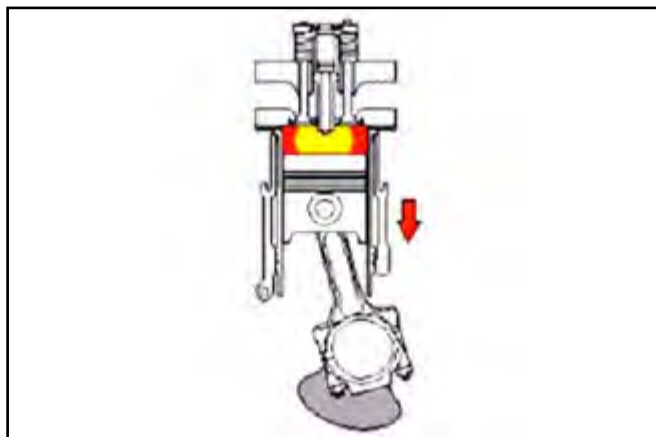
Istilah Effisiensi Dan Fisika

Terdapat tiga kategori utama terminologi untuk menjelaskan *engine*:

- Gerakan benda dan pengaruh dari gerakan (fisik)
- Tenaga yang dihasilkan
- Effisiensi *engine* (pengukuran)

Istilah Fisika yaitu:

- Gesekan

  Sejumlah gaya tertentu diperlukan agar benda dapat meluncur pada benda lainnya (Gambar 3.42). Hambatan terhadap gerakan ini disebut gesekan. Bila bebannya meningkat, hambatan juga naik. Sebagai contoh, untuk menggerakkan benda yang berat diperlukan usaha yang lebih besar dibandingkan untuk menggerakkan benda yang ringan.

Gambar 3.42. Gesekan

Kondisi permukaan yang saling bersentuhan juga akan membuat perbedaan. Karena itulah mengapa sistem pelumasan pada *engine* diperlukan. Lapisan oli (*oil film*) yang terdapat diantara komponen yang bergerak pada *engine* menjaga agar gesekan yang terjadi antara kedua permukaan sangat kecil. Hal ini tidak saja membuat *engine* menjadi tahan lama, tetapi juga menurunkan *drag* (hambatan, penahanan) pada *engine*. Ini

memungkinkan *engine* menghasilkan tenaga yang lebih besar. Gesekan terjadi antara *piston* dan dinding *cylinder* saat *piston* bergerak naik turun. Gesekan akan menghasilkan panas yang merupakan salah satu faktor penyumbang keausan dan kerusakan komponen yang paling besar.

- Inersia
  Hukum Newton I mengenai gerakan menyatakan bahwa suatu benda akan cenderung tetap bergerak ataupun tetap diam apabila tidak ada gaya dari luar yang mempengaruhinya. Phenomena ini berdasarkan inersia yang dimiliki benda. Besar inersia suatu benda berbanding lurus dengan berat dari benda tersebut. Sebagai contoh, mobil memiliki inersia yang lebih besar dibandingkan dengan sepeda. Karena itulah, mengapa kita lebih sulit menggerakkan atau menghentikan mobil daripada sepeda.

- Gaya
  Gaya adalah sesuatu yang menyebabkan suatu benda bergerak, berhenti atau berubah arah gerak. Sebagai contoh, gaya dihasilkan oleh pembakar-an pada saat langkah tenaga. Semakin besar gaya yang dihasilkan, semakin besar pula tenaga yang kita dapatkan.
- Tekanan
  Tekanan dihitung berdasarkan besar gaya per satuan luas. Selama proses 4-langkah, tekanan terjadi di atas *piston* saat langkah kompresi dan tenaga
  Beberapa sistem dan komponen pada *engine* pembakaran dalam (*internal combustion engine*) bekerja di bawah tekanan atau menghasilkan tekanan tertentu. Pengetahuan tentang perhitungan/pengukuran akan hal ini memberikan informasi yang sangat berharga untuk mengetahui kondisi *engine* secara keseluruhan.

  Tekanan dapat dihasilkan melalui tiga cara :
  - Menaikkan suhu
  - Memperkecil volume, tetapi berat tetap sama (langkah kompresi)
  - Menghambat aliran
- *Torque*
  Saat *engine* hidup, pembakaran berlangsung, menyebabkan *piston* pada *cylinder* bergerak turun. Pergerakan *piston* ini mendorong *connecting rod* dan menyebabkan *crankshaft* berputar. Gaya putar atau puntir yang dihasilkan *crankshaft* disebut torsi (*torque*).

Torsi juga dapat dihitung berdasarkan kapasitas beban yang dapat diangkat oleh *engine*.
Torsi dan *horsepower* yang dihasilkan *engine* saling berhubungan antara satu dengan lainnya, sesuai dengan rumus berikut:

$$T = 5252\ x\ \frac{HP}{RPM}$$

Dimana: T = Torsi dalam Newton meter (N.m)

Horsepower (HP) merupakan satuan pengukuran imperial dan 5252 adalah konstanta.

Torsi diukur dalam satuan *foot-pounds* (ft.lb) pada satuan imperial dan Newton-meter (Nm) pada sistem metrik.

1 ft.lb = 1,3558 Nm
1 Nm = 0,7376 ft.lb

- Tenaga
  Tenaga didefinisikan sebagai nilai kerja dalam kurun waktu tertentu.

  Tenaga = $P = \frac{F\ x\ D}{t}$ atau $P = \frac{W}{t}$

  Dimana t = waktu (lama pekerjaan dilakukan)

- Horsepower
  Satuan standar tenaga pada sistem metrik adalah kilowatt (kW) dan dalam sistem imperial adalah *horsepower* (HP).

  1 HP = 0,746 kW dan 1 kW = 1,340 HP

  James Watt, penemu dari Scotlandia, adalah penemu istilah *horsepower*. Watt meneliti kemampuan seekor kuda di suatu tambang batu bara. Dia mendefinisikan 1 HP sama dengan kemampuan seekor kuda untuk mengangkut 33.000 lb batu bara sejauh 1 ft dalam waktu 1 menit.

$$Horsepower = \frac{Waktu\ x\ RPM}{5252}$$

Definisi *horsepower* menjelaskan jumlah kerja yang dihasilkan dalam kurun waktu tertentu.

$$HP = \frac{t \ x \ RPM}{5252}$$

Catatan:
Rumus ini tidak dapat digunakan dalam satuan metrik. Ubahlah terlebih dahulu satuannya ke sistem imperial sebelum melakukan perhitungan.

Ada beberapa perbedaan dalam istilah tenaga yang sering didiskusikan.

- *Indicated HorsePower* (IHP) merupakan tenaga yang dihasilkan *engine* secara teoritis. Ini didapatkan dengan cara mengalikan *displacement* dari *engine* dengan *mean effective pressure* (tekanan effektif rata-rata) pada *cylinder* dengan satuan *pounds per square inch* dan dibagi dengan 33.000.

- *Brake Engine HorsePower* (BHP) merupakan tenaga sebenarnya yang tersedia untuk kerja pada *flywheel*. Nilainya lebih kecil dari IHP karena sebagian kecil tenaga telah digunakan untuk menggerakkan komponen *engine* dan penggerak tambahan lainnya seperti *water pump* dan *oil pump*. Normalnya nilainya dapat diketahui pada saat melakukan uji fisik di *dynamometer*. *Dynamometer* merupakan suatu alat yang dihubungkan dengan *engine* untuk tujuan melakukan pengukuran torsi dan *horsepower* yang dihasilkan oleh *engine*.

- *Friction HorsePower* (FHP) merupakan tenaga yang diperlukan untuk menanggulangi gesekan pada *bearing*, *gear* dan komponen-komponen yang bergerak lainnya pada *engine*. Gaya gesekan akan meningkat apabila ukuran atau kecepatan putaran *engine* bertambah.

  Untuk menghitung *Brake Engine Horsepower*, dapat digunakan rumus berikut ini:

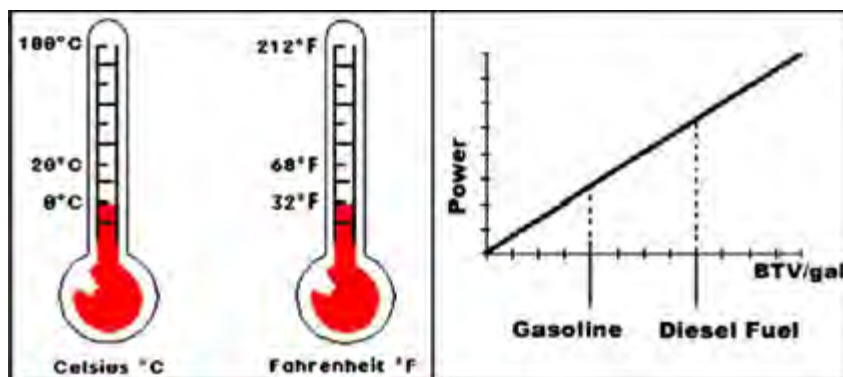
  IHP – BHP = FHP

- Usaha
  Usaha didefinisikan sebagai gaya yang digunakan untuk memindahkan benda dalam jarak tertentu.

  Usaha = Gaya x Jarak

  $$W = F \ x \ D$$

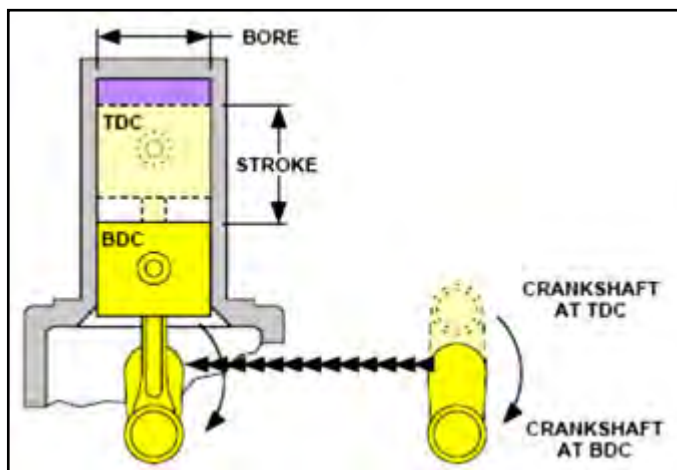
- Panas
  Suhu adalah suatu ukuran dingin atau panasnya suatu benda. Biasanya diukur dalam satuan skala *Fahrenheit* atau skala *Celsius* (Gambar 3.43)

British Thermal Unit (BTU) digunakan untuk mengukur nilai panas yang dihasilkan bahan bakar atau panas yang dipindahkan dari satu benda ke benda lainnya.
Panas merupakan bentuk energi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Energi panas diubah menjadi energi mekanis oleh *piston* dan komponen *engine* lainnya agar dapat menghasilkan tenaga yang sesuai untuk kerja.

Gambar 3.43. Panas

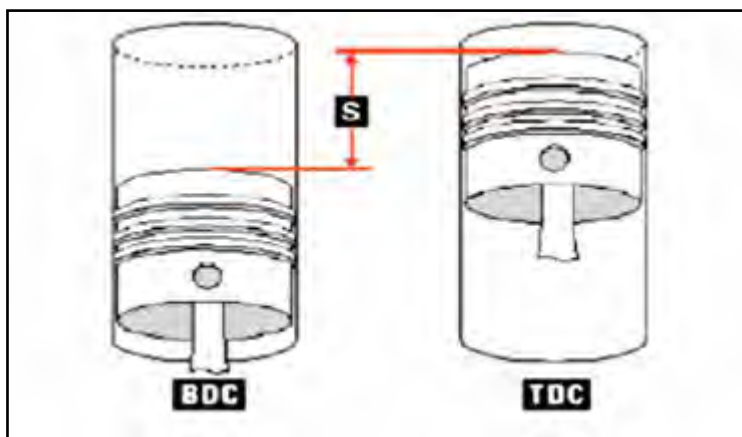
Satu BTU didefinisikan sebagai jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu *pound* air sebesar 1^{o}F. Istilah ini juga dapat digunakan untuk menjelaskan nilai panas bahan bakar. Bahan bakar dengan nilai BTU yang tinggi menghasilkan panas yang lebih tinggi sehingga tenaga yang dihasilkanpun besar. Bahan bakar *diesel* memiliki nilai BTU lebih besar dari bensin (Gambar 3.43).
Pada sistem pendingin, panas diserap dari *engine*. Jumlah panas yang diserap oleh sistem pendingin *engine* dihitung dalam BTU.

Terminology Pengukuran _Engine_

Effisiensi yang dimiliki *engine* tertentu dinyatakan dalam persen dari aktual tenaga yang dihasilkan disebut *break horse power* (BHP) berbanding dengan tenaga yang dihasilkan *engine* secara teoritis disebut *indicator horse power* (IHP).
Performa *engine* dinilai dengan membandingkan tenaga keluaran *engine* dan atau effisiensi *engine*. Ini bisa dihitung menggunakan beberapa cara. Spesifikasi dari pabrik pembuat harus diketahui terlebih dahulu untuk memahami pengaruh faktor-faktor ini pada performa *engine*.
Beberapa spesifikasi dasar yang dibuat oleh pabrik yang mempengaruhi performa *engine* adalah; *Bore; Stroke; Displacement;* dan *Compression ratio*

- *Bore (B)*

Gambar 3.44. *Bore*

Bore adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan garis tengah (diameter) bagian dalam suatu *cylinder* pada *engine* (Gambar 3.44). Satuan yang digunakan biasanya millimeter atau inch.

Ukuran *bore*, bersama dengan jarak langkah *piston*, dapat menentukan volume udara yang tersedia untuk pembakaran. Normalnya, semakin besar *bore*, maka *engine* akan semakin bertenaga.

Gambar 3.45. Langkah torak

- *Stroke*

  Titik Mati Atas (TMA) atau *Top Dead Center* (TDC) merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan posisi *piston* saat pada posisi paling atas pada *cylinder* (Gambar 3.45). Beberapa kejadian pada *engine* mengacu pada posisi *crankshaft*, diukur dalam derajat sebelum atau sesudah titik mati atas.

  Titik Mati Bawah (TMB) atau *Bottom Dead Center* (BDC) merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan posisi *piston* saat berada pada posisi paling bawah pada *cylinder* (Gambar 3.45).

  Langkah atau *stroke* (L) adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan jarak perjalanan *piston* pada *cylinder*. Langkah *piston* dihitung sebagai perbedaan antara posisi *piston* saat di TMA dengan TMB, dan besarnya langkah di tentukan oleh rancangan *crankshaft*.

  Langkah *piston* dihitung dalam satuan millimeter atau inch. Semakin panjang langkah *piston* semakin banyak udara yang masuk kedalam *cylinder*, sehingga akan lebih banyak bahan bakar yang bisa dibakar dan tenaga yang dihasilkan *engine* pun semakin besar.

- *Engine Displacement*

  Bore, *stroke* dan jumlah *cylinder* menentukan *displacement engine*. *Displacement* tiap-tiap *cylinder* adalah volume *cylinder* yang dilalui oleh pergerakan langkah *piston* dalam satu kali langkah. *Engine displacement* adalah *displacement cylinder* dikalikan dengan jumlah *cylinder*.

  Displacement engine dapat dihitung berdasarkan rumus berikut ini:

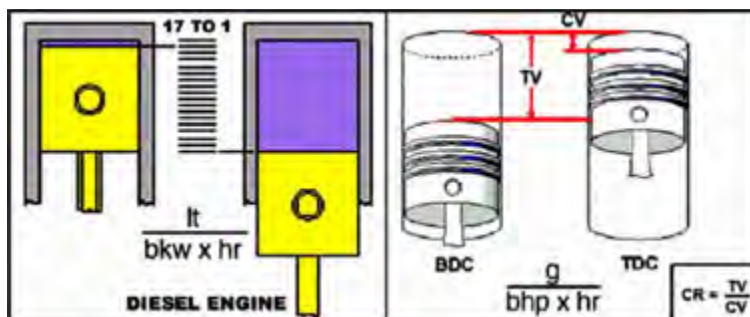
  Displacement = *Bore Area* x *Stroke* x jumlah *cylinder*

  $$= \pi r^2 \ x \ L \ x \ n$$

  Dimana: $\pi = \frac{22}{7} \quad atau \quad 3{,}142$

  Radius = ½ *bore* (diameter)^2
  L= *stroke*
  n = jumlah *cylinder* pada *engine*

  Displacement biasanya dinyatakan dalam in^3, cm^3 (cc) atau Liter

- *Compression Ratio*

Gambar 3.46. Perbandingan kompresi
(compression ratio)

Cylinder displacement dan volume ruang bakar menentukan *compression ratio* (perbandingan kompresi) dari *engine* (Gambar 3.46). Untuk menghitung perbandingan kompresi, gunakan rumus berikut ini:

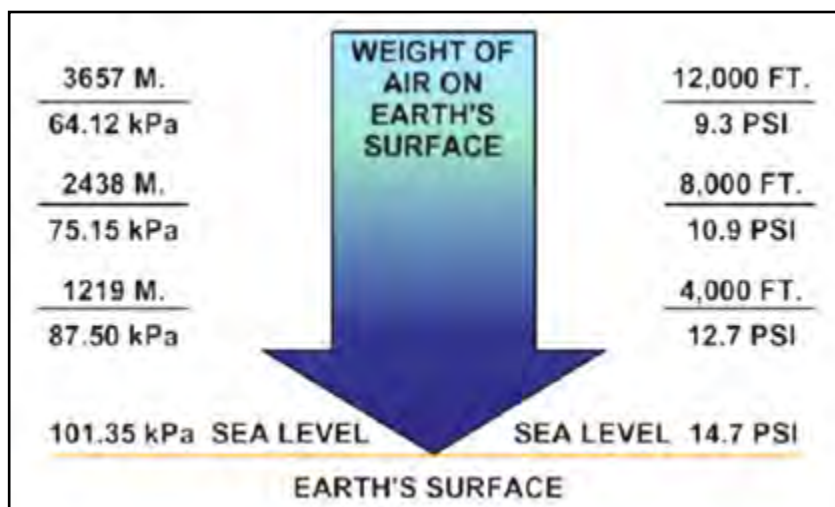
$$CR = \frac{Volume\ Cylinder\ Total}{Volume\ Ruang\ Bakar}$$

Atau:

$$CR = \frac{Total\ Volume\ saat\ Piston\ di\ TMB}{Volume\ Kompresi\ saat\ Piston\ di\ TMA}$$

Perbandingan kompresi untuk *engine diesel* adalah antara 11:1 sampai 22:1. Nilai ini lebih besar dari perbandingan kompresi untuk *engine* bensin atau pun gas yang biasanya sekitar 8:1 sampai 11:1. *Engine diesel* menggunakan perbandingan kompresi yang lebih tinggi untuk meningkatkan tekanan pada ruang bakar sehingga dapat memproduksi temperatur yang tinggi.

Ini dikarenakan rancangan dasar pengapiannya adalah berdasarkan tekanan kompresi, sedangkan untuk *engine* bensin atau gas pengapiannya menggunakan busi
Dengan tekanan yang lebih tinggi kita akan mendapatkan suhu udara dan bahan bakar yang lebih tinggi pula, dimana secara umum suhunya bisa mencapai kira-kira 1000^{o}F dan akan menyebabkan bahan bakar menyala tanpa harus menggunakan busi.

Kondisi Atmosfer

Gambar 3.47. Keadaan atmosfer

Agar mendapatkan tenaga yang diharapkan, *engine diesel* memerlukan udara yang banyak. Tekanan atmosfer, suhu udara dan kelembaban udara memegang peranan penting dalam karakteristik performa *engine*.
Tekanan atmosfer mendorong udara masuk kedalam ruang bakar dan tekanan atmosfer adalah tekanan udara disekeliling kita.
Tekanan atmosfer di pantai lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan udara di puncak gunung (Gambar 3.47).

Sebagai contoh, karena tingginya tekanan udara di pantai maka udara menjadi lebih padat dibandingkan dengan di puncak gunung. Pada udara yang lebih padat ini terdapat molekul udara yang lebih banyak. Hal ini memungkinkan bahan bakar terbakar secara sempurna pada *engine diesel*, sehingga kita dapatkan tenaga yang lebih besar. Ini juga yang menjadi alasan mengapa *engine* lebih bertenaga bila dioperasikan di daerah dengan ketinggian operasi rendah (dataran rendah).
Suhu udara luar juga memegang peranan penting yang menentukan berapa banyak udara yang dapat mengalir ke *cylinder*. Semakin rendah suhu udara, maka semakin padat udara tersebut. Semakin tinggi *density* nya semakin besar pula tenaga yang dihasilkan *engine*. *Engine* cenderung beroperasi lebih bagus di malam hari karena suhu udaranya lebih rendah.
Kelembaban udara juga merupakan faktor yang penting pada pembakaran *engine diesel*. Kelembaban udara merupakan persentase jumlah uap air yang terdapat pada udara. Semakin tinggi kelembaban udara berarti semakin banyak uap airnya dan semakin

sedikit oksigennya. Sehingga pembakaran menjadi kurang effisien dan tenaga menjadi berkurang.

- Effisiensi
  Tenaga aktual yang dihasilkan *engine* selalu lebih rendah dibandingkan dengan tenaga secara teoritis. Ada beberapa cara untuk menjelaskan effisiensi *engine*.

- *Volumetric Efficiency*
  Didefinisikan sebagai kemampuan *engine* dalam mengisikan udara kedalam *cylinder* saat langkah isap dibandingkan dengan *cylinder* yang diisi penuh dengan udara karena tekanan atmosfer.
  Karena udara harus ditekan kedalam *cylinder* oleh tekanan atmosfer, maka *cylinder* tidak akan pernah terisi penuh 100%.

- *Mechanical Efficiency*
  Merupakan perbandingan BHP dengan IHP.

$$Mechanical\ Efficiency = \frac{Brake\,HorsePower}{Indicated\ HorsePower}$$

- *Thermal Efficiency*
  Merupakan tingkat seberapa besar kemampuan *engine* merubah energi udara dengan *fuel* menjadi energi panas yang akan menyebabkan *piston* memutarkan *crankshaft*.
- *Fuel Efficiency*
  Didefinisikan dalam beberapa cara. Umumnya dinyatakan dalam kilometer per liter (Km/L), liter per 100 Km atau mil per galon (mpg). Ini digunakan untuk menjelaskan effisiensi bahan bakar *engine* pada aplikasi jalan raya seperti *truck*.
  Effisiensi bahan bakar untuk aplikasi *earthmoving* dapat dinyatakan dalam liter per jam atau gallon per jam pada *rated speed* (kondisi beban penuh). Effisiensi bahan bakar dapat pula dinyatakan dalam „*brake specific fuel consumption*" (BSFC). BSFC didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar per satuan tenaga dan waktu. BSFC *engine* dapat dinyatakan dalam:

$$\frac{Liter}{brake\,kiloWatt\ x\ waktu} \quad atau \quad \frac{Gallon}{brake\,horsepower\ x\ waktu}$$

Atau:

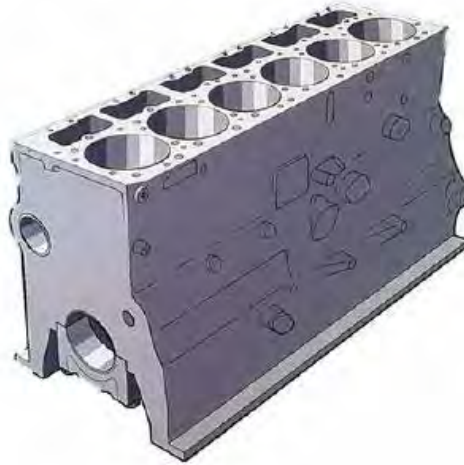
$$\frac{lt}{bkw\ x\ jam} \quad atau \quad \frac{g}{bhp\ x\ jam}$$

Komponen *Diesel Engine*

Gambar 3.48. *Engine*

Industri misalnya Caterpillar mengembangkan dan membuat *diesel engine* empat langkah untuk memenuhi kebutuhan *machine* buatan Caterpillar dan untuk memenuhi kebutuhan peralatan yang dibuat oleh pabrikan lainnya.

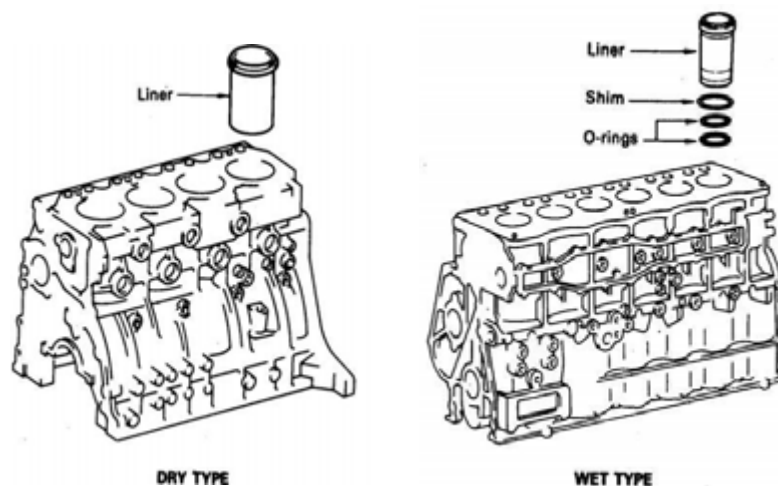
Untuk dapat melakukan diagnosa, perbaikan dan perawatan secara effektif, maka diperlukan pemahaman yang lengkap dan menyeluruh tentang prinsip kerja dan konstruksi *engine diesel*.
Misalnya dijelaskan *Engine* Caterpillar 3406 digunakan sebagai contoh dalam pembelajaran ini (Gambar 3.48). Fungsi dan nama-nama komponen engine yang digunakan Caterpillar pada dasarnya sama juga dengan yang dipergunakan oleh pabrik pembuat lainnya.
Engine 3406 merupakan *diesel engine* untuk tugas berat, yang memiliki 6-*Cylinder* segaris *(in-line*). *Engine* ini memiliki diameter *Cylinder (bore)* sebesar 162.56 mm (5.4 inch), panjang langkah (stroke) 165.1 mm (6.5 inch) dan volume Cylinder (displacement) 14,633 cc (893 cu.in.).
Engine jenis ini digunakan pada *on-highway truck*, pada produk-produk Caterpillar lain, seperti Genset dan Marine.

- *Cylinder Block* dan Komponen

Gambar 3.49. Blok silinder

Block merupakan salah satu komponen utama pada *diesel engine* sebagai tempat menghasilkan tenaga. Komponen ini harus memiliki kekuatan dan ketahanan yang tinggi, karena hasil gaya, tekanan dan panas dari proses pembakaran dipindahkan ke *engine block*. Untuk mendapatkan kekuatan yang tinggi, *block* dicor dengan presisi menggunakan material campuran.

Blok silinder didesain dalam bentuk satu baris ataupun bentuk – V. Komponen ini adalah yang terbesar pada *engine* dan dibuat kuat agar tahan terhadap tekanan, getaran dan panas yang diproduksi dari operasi *engine.*

Salah satu bentuk konstruksi blok silinder adalah menyatu (integral), dimana silinder dibuat menjadi satu dengan ruang engkol, atau gabungan, dimana silinder dapat dilepas dari ruang engkol.

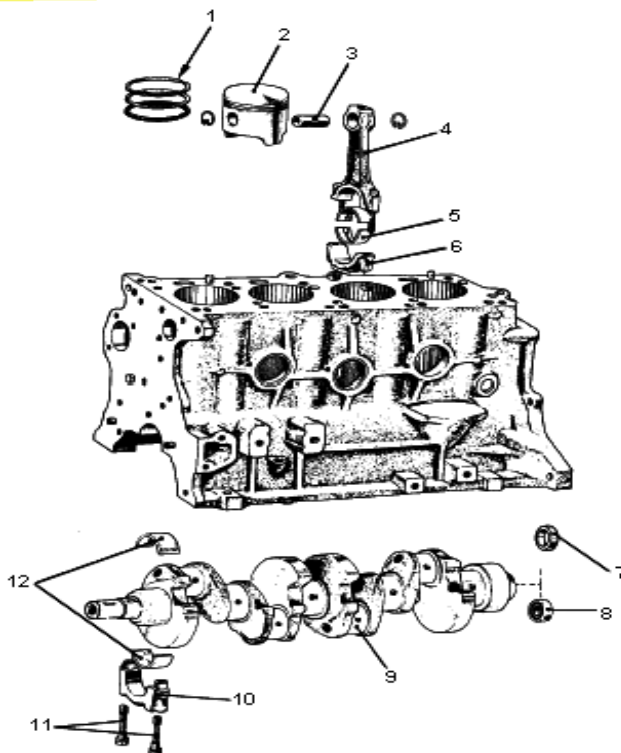
Cylinder block terbuat dari besi tuang dan berfungsi untuk dudukan komponen-komponen *engine* dan terdapat *water jacket* untuk tempat aliran air pendingin. *Cylinder liner* adalah silinder yang dapat dilepas *Cylinder liner* dibagi menjadi 2 tipe : *dry type* dan *wet type*.

Gambar 3.50. Tabung silinder tipe kering dan basah

Tabung Silinder Basah

Blok dicor tanpa tabung silinder dan saat tabung silinder dipasang, bagian luar dari tabung silinder tersebut berhubungan langsung dengan mantel air. Sil khusus dipasang pada bagian bawah dan atas tabung silinder untuk mencegah kebocoran air pendingin maupun oli pelumas. Tabung silinder basah pada umumnya telah difinising dan mampu menghantarkan panas pembakaran secara cepat. Kelemahan dari tabung basah ini adalah kebocoran dan karat.

Tabung Silinder Kering

Tabung silinder kering adalah yang utama digunakan pada blok *engine,* yang ketahanannya di bawah besi tuang blok *engine* itu sendiri. Tabung kering dijamin pemasangannya pada blok dengan *interferense* atau dibuat *plens* pada bagian atas tabung tersebut dan tertekan oleh kepala silinder. Tabung kering lebih sulit memasang maupun melepas, dan kadang-kadang membutuhkan pekerjaan honing setelah tabung tersebut dipasang.

Selanjutnya pada saat pembongkaran anda harus mengetahui komponen-komponen yang terpasang pada blok silinder tersebut seperti diperlihatkan pada gambar 3.51. berikut ini.
Pada umumnya blok silinder terbuat dari bahan besi tuang kelabu. Hal ini relatif lebih murah, mudah dibentuk, Tidak mudah aus dan tahan terhadap pengaruh panas.

Gambar 3.51. Blok silinder grup

Keterangan gambar:

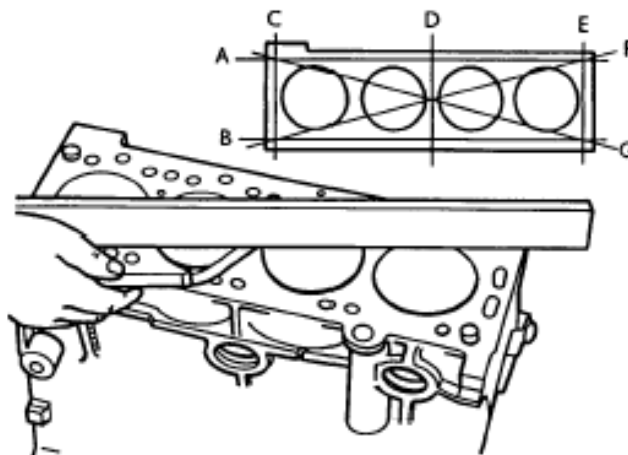
1	Cincin torak (dua cincin kompresi	7	Busing/bantalan
2	Torak	8	Bantalan spigot
3	Pena torak	9	Bantalan utama
4	Batang torak	10	Tutup bantalan
5	Bantalan batang torak/bantalan ujung besar (big end)	11	Baut tutup bantalan
6	Tutup bantalan	12	Bantalan sisipan

Pemeriksaan Blok Silinder

Pemeriksaan pada blok silinder harus dilakukan setelah blok silinder dibersihkan dengan benar adapun hal-hal yang menjadi fokus dalam membersihkan meliputi: rongga oli pelumas, saluran air pendingin, dan lobang-lobang baut.

Pemeriksaan umum secara visual dilakukan pada silinder dari kemungkinan tergores, berkarat, aus, retak, kerusakan permukaan, kerusakan lobang-lobang baut, dan tutup pengaman yang ada pada

blok silinder. Hal ini harus dilakukan sebelum dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan alat-alat ukur untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Gambar 3.52, memperlihatkan cara memeriksa kerataan ataupun kebalingan permukaan blok silinder.

Gambar 3.52. Memeriksa Kerataan Blok silinder

Kerataan atau kebalingan permukaan blok silinder dan ujung bagian atas lobang silinder dapat diperiksa dengan menggunakan alat *feeler* dan *straight edges*.

Keretakan dapat diperiksa dengan menggunakan *dye penetrant,* serbuk maknit atau sinar ultra violet. Tutup pengaman yang ada pada blok sebaiknya dilepas agar dapat dipastikan ada gangguan atau tidak karena dengan terpasang sulit untuk menentukannya.

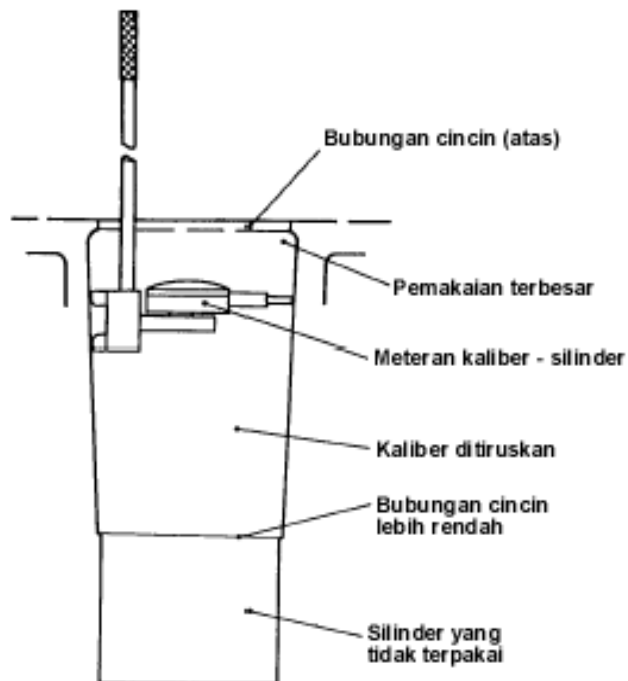
Secara umum kebanyakan masalah keausan silinder adalah abrasi, erosi dan korosi.

- Abrasi adalah diakibatkan ada sesuatu kotoran masuk kedalam *engine*, hal ini dapat saja diakibatkan servis yang kurang baik misalnya saringan udara kotor atau manifol bocor.
- Erosi adalah akibat dari aus karena gesekan.
- Korosi adalah hasil dari unsur yang diproduksi pembakaran.
-

Pada gambar 3.53, diperlihatkan cara pengukuran diameter silinder dengan menggunakan *cylinder bore gauge*, selanjutnya hasil

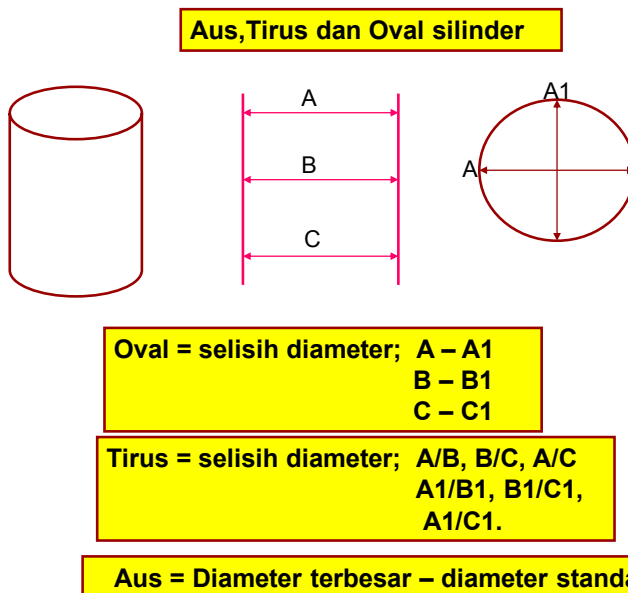
pengkuran ini akan diolah untuk menghitung, keovalan, ketirusan dan keausan agar dapat ditentukan apakah silinder masih dalam spesifikasi atau sudah melampaui limit yang ditentukan oleh pabrik, sehingga dapat ditentukan perbaikan yang diperlukan.

Keausan maksimum yang terjadi pada silinder terdapat pada bagian atas silinder yang dilalui oleh cincin torak, dan keausan ini akan lebih kecil kearah bagian titik mati bawah (TMB). Bentuk keausan ini terjadi akibat temperatur dan tekanan akibat pembakaran didaerah atas silinder dan pelumasan pada daerah ini kurang.

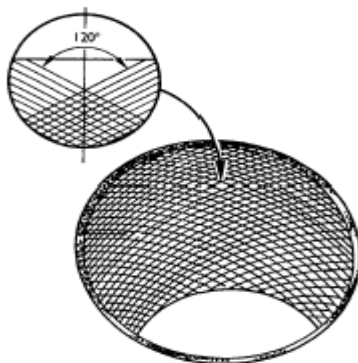
Selanjutnya torak bergerak kearah bawah silinder dimana temperatur dan tekanan mulai berkurang dan pelumasan pada daerah ini lebih baik dibandingkan dengan pelumasan didaerah atas silinder.
Keausan yang terjadi pada silinder juga dapat berbentuk oval. Keovalan ini biasanya diakibatkan oleh sisi kerja torak dimana akibat kekakuan batang torak dan juga oleh tekanan kompresi dan pembakaran yang membuat torak membentuk sudut tekan terhadap kerja poros engkol.

Gambar 3.53. Memeriksa diameter silinder.

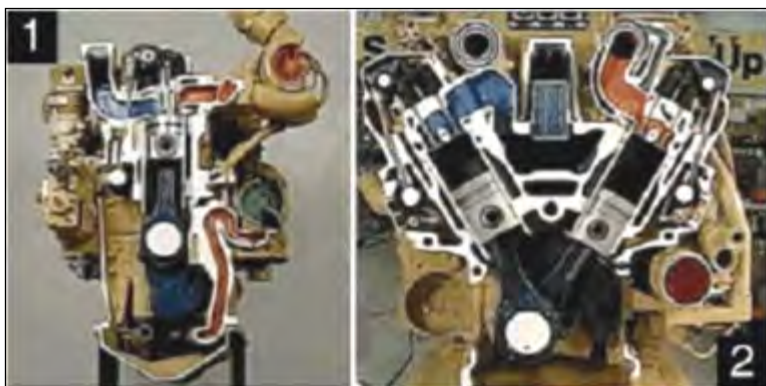
Penggunaan alat ukur harus terlebih dahulu dilakukan kalibrasi agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat, baik itu kalibrasi alat itu sendiri maupun terhadap alat ukur lainnya yang digunakan.

Posisi pengukuran disarankan minimum pada tiga posisi yaitu pada bagian atas silinder di bawah *ridge*, bagian tengah dan bagian bawah dilakukan secara bersilangan seperti terlihat pada uraian berikut.

.

Gambar 3.54. Formasi pengukuran diameter silinder

Batas keausan pada daerah yang dilalui cincin torak disebut *ridge*, pada daerah titik mati atas (TMA). Tonjolan *(ridge)* ini harus dibuang terlebih dahulu sebelum torak dilepaskan hal ini untuk menghindari kerusakan pada saat melepas torak dan cincinnya ataupun pemasangan cincin torak yang baru.

Apabila keausan masih di bawah limit maka pembentukan kembali kondisi silinder dapat dilakukan dengan batu honing. *Honning* model sikat dapat digunakan untuk pekerjaan *finishing* dan sekaligus membentuk garis-garis lingkar pada dinding silinder untuk membantu pelumasan dan mempertinggi kerja cincin torak. Setelah selesai *finishing* maka harus dilakukan pembersihan terhadap partikel-partikel untuk mencegah keausan yang tidak pada waktunya.

Gambar 3.55. Garis lingkar honing

Apabila silinder masih dalam ukuran limit maka biasanya untuk memperbaiki permukaannya dapat menggunakan honing, walaupun beberapa pabrik memproduksi cincin torak yang tidak memerlukan garis-garis lingkar. Perbaikan dapat meliputi melepas *ridge* dengan menggunakan honing. Apabila keadaan gangguan yang terjadi pada silinder telah melampaui limit maka perbaikannya akan menggunakan mesin *reboring* yang mana diameter silinder menjadi diperbesar hal ini akan menyebabkan penggunaan torak yang diameternya juga diperbesar, atau dapat juga memboring silinder dan memasang tabung yang baru yang ukurannya tetap standar. Pada mesin yang silindernya dapat dilepas selalu menggunakan tabung silinder kering ataupun basah.

Gambar 3.56. Bentuk blok silinder

Engine block (Gambar 3.56) ada dua jenis, yaitu:

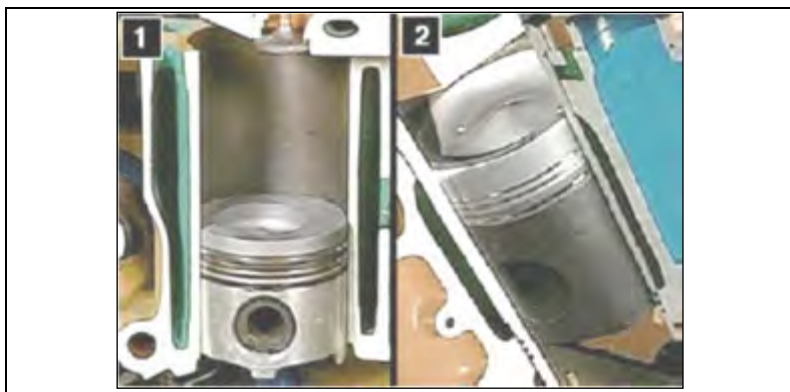
- *In-line engine*, dimana susunan *cylinder*-nya sebaris

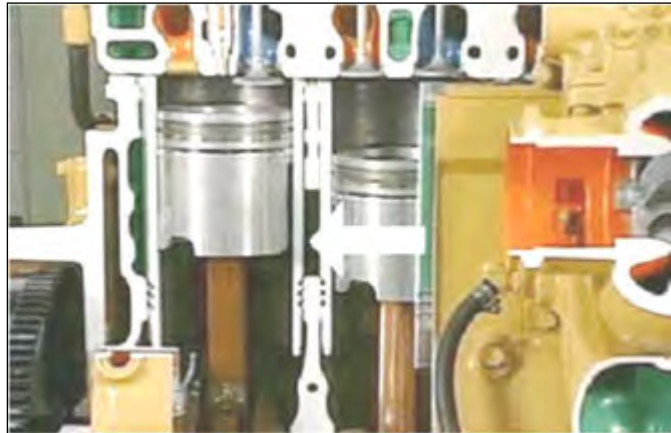
- V-*engine*, memiliki dua baris *cylinder*, menggunakan satu *crankshaft* dibagian bawah dan *block* berbentuk huruf V.

Gambar 3.57. Saluran air dan oli pada blok

Block biasanya dibuat dari besi cor dimana didalamnya terdapat lubang-lubang untuk saluran air pendingin (1) dan saluran oli pelumas (2).

Cylinder Liner

Cylinder liner dibuat dari cor campuran besi baja dan *molybdenum* untuk mendapatkan kekerasan yang tinggi. Permukaan bagian dalam setiap *liner* dikeraskan secara induksi, lalu di-*honing* dalam bentuk garis saling silang (cross-hatched) untuk membantu pengaturan oli.
O-ring digunakan untuk menyekat bagian bawah *liner* dengan ruangan air pendingin pada *block*. *Liner band* pada *liner* digunakan sebagai penyekat bagian atas *liner*. *Engine block* yang kaku dan keras ini memungkinkan *seal-seal* ini tetap duduk untuk memberikan penyekatan yang baik.

Gambar 3.58. *Cylinder liner*

Kegunaan *liner* adalah sebagai rumah dan pemandu gerakan *piston*, mem-bentuk ruang bakar dan menyerap panas. *Liner* juga ada yang langsung menyatu dengan *block*, yang disebut *parent bore*, Gambar 5(1), dan yang bisa dibongkar-pasang (*removable cylinder liner*), Gambar 3.58 (2).

Gambar 3.59. *Water jacket* pada blok silinder

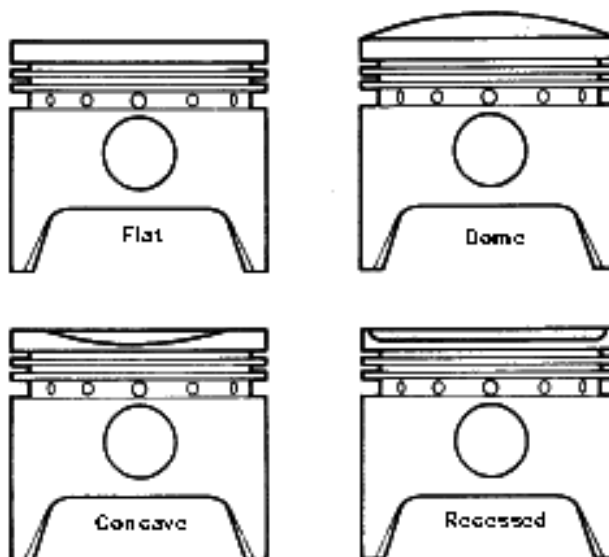
Cylinder liner membentuk dinding *water jacket* antara pendingin dan *piston*, Gambar 3.59.

Gambar 3.60. *Wet* dan *dry liner*

Wet liner mempunyai *o-ring* untuk menyekat *water jacket* dan menjaga kebocoran air pendingin (Gambar 3.60 kiri). *Dry liner* sering digunakan untuk memperbaiki *engine parent bore*, bila *cylinder*-nya rusak atau mengalami keausan. *Liner* ini dikatakan *dry* (kering) karena terpasang langsung pada *block* (Gambar 3.60,kanan).

Piston

Industri rekondisi mesin meliputi jangkauan yang luas terhadap berbagai macam mesin pada saat dilakukan pekerjaan rekondisi, dari silinder tunggal kecil hingga silinder multi yang besar.
Karena terdapat berbagai macam desain mesin maupun komponen yang berbeda satu sama lain maka diambil sebuah contoh yaitu piston.
Pengetahuan mengenai desain piston merupakan bagian penting dalam proses rekondisi.
Dengan mempelajari informasi-informasi yang relevan dan mempelajari berbagai tipe piston anda akan mengenal berbagai desain yang berbeda dan mengerti karakteristik apa yang harus dimiliki sebuah piston supaya dapat beroperasi dengan baik.

Piston-piston diproduksi dalam empat macam tipe umum mahkota (sebagaimana ditunjukkan oleh gambar, 3.61).

Gambar 3.61. Bentuk *piston*

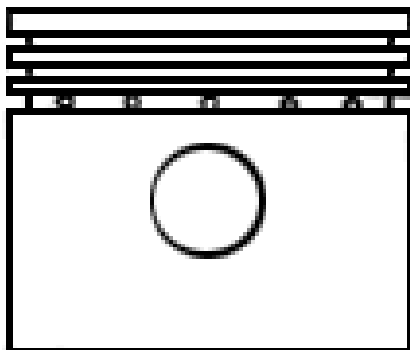
Keterangan gambar.
1. Rata
2. Bentuk kubah
3. Bentuk berlubang cekung/konkav
4. Bentuk berlubang rata

Agar didapatkan pengertian yang lebih baik tentang berbagai jenis bentuk mahkota/crown piston. Desain kedua ruang pembakaran dan persyaratan rasio kompresi mesin perlu dijelaskan.

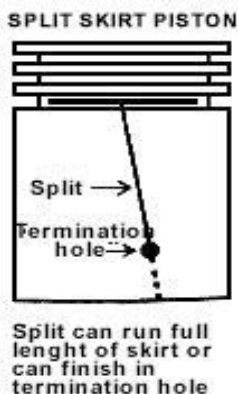
Mesin harus memiliki sebuah ruang pembakaran untuk mencampur udara dengan bahan bakar. Jika rumah ruang pembakaran berada di dalam kepala silinder biasanya digunakan piston yang berbentuk rata atau bentuk kubah. Jika kepala silinder berbentuk rata maka ruang pembakaran tidak terdapat dalam kepala silinder. Ruang pembakaran diletakkan di dalam bagian atas piston sehingga harus menggunakan piston yang berbentuk ceruk.

Variasi desain bertujuan untuk mengurangi atau memperbesar "perbandingan" kompresi, atau membantu terjadinya turbulensi pada efek squish gas.
Efek squish dihasilkan oleh aksi piston ketika gerakannya mencapai puncak; bagian dari piston mendekati kepala silinder sehingga mendesak gas keluar ke arah ruang pembakaran dan busi. Hal ini juga mengakibatkan terjadinya turbulensi yang diperlukan untuk mengaduk campuran udara dan gas sehingga dapat terjadi pembakaran gas yang sempurna.

Beberapa tahun yang lalu pabrik-pabrik mesin memperkenalkan teknologi baru dalam desain pembuatan piston sehingga lebih kuat dan lebih tahan terhadap keausan. Letupan akibat panas yang terjadi saat piston beroperasi juga dapat diperkecil dengan penggunaan aluminium campuran yang mengandung elemen-elemen ekstra.
Tetapi sebagian besar desain piston yang digunakan pada mesin yang direkondisi mempunyai karakteristik skirt piston serupa dengan piston-piston di bawah ini:

- Desain skirt sederhana
- Desain skirt split
- Desain piston "W" scot
- Desain transverse slot
- Desain strut baja

Gambar 3.62. *Skirt* sederhana

Skirt piston berfungsi untuk menyangga piston pada silinder supaya kebisingan yang terjadi ketika piston bergerak di dalam silinder dapat diredam.
Aplikasi yang berbeda memerlukan konstruksi piston yang berbeda. Misalnya pada aplikasi heavy duty seperti mesin diesel, mesin dengan peforma tinggi dan mesin dua langkah kebanyakan menggunakan desain skirt sederhana.

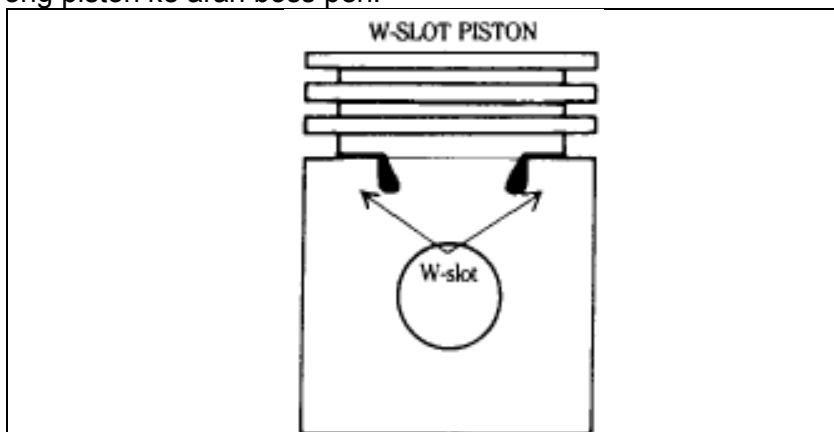
Pada desain jenis ini kekuatan merupakan hal yang penting, karena dengan terjadinya pemuaian aluminium maka diperlukan celah ekstra dan ketika piston dingin bisa timbul noise pada piston.
Piston mempunyai lubang penguras di belakangnya pada ulir/groove minyak sehingga oli dapat mengalir kembali pada pompa setelah di scrap off dari dinding silinder. (Kebanyakan desain piston merupakan modifikasi dari piston skirt sederhana).
Piston dengan desain skirt sederhana walaupun hampir sempurna tetapi ditujukan untuk mobil penumpang.

Gambar 3.63. *Piston* dengan desain skirt sederhana

Celah pada piston dibuat seminim mungkin supaya piston lebih tenang (tidak terlalu berisik) ketika bekerja. Ketika piston memanas

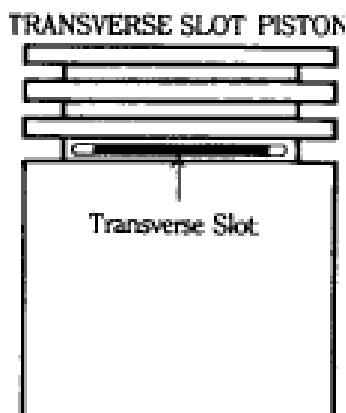
pemuaiannya terjadi pada slot. Karena kadang-kadang slot memanjang pada seluruh panjang piston, maka piston menjadi lebih lemah yang bisa membuatnya patah.

Catatan :

Dalam merakit piston tipe ini, rakitlah selalu dengan slot ke arah sisi pendorong silinder.

Desain piston "W" slot menggunakan slot-slot yang dicor pada skirt piston ke arah boss pen. Desain ini mengarahkan panas menjauhi sisi pendorong piston ke arah boss pen.

Gambar 3.64. *Piston slot "W"*

Pada desain piston slot "W" timbul permasalahan yaitu mesin mendapat tekanan yang sangat tinggi karena slot memperlemah skirt piston dan terjadi retak pada slot.

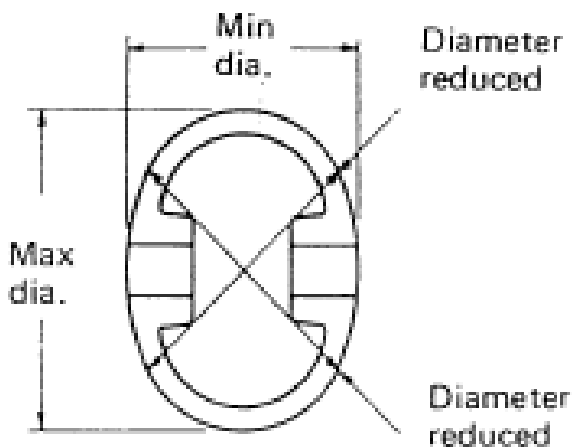
Piston dengan desain slot transverse merupakan skirt sederhana dengan slot yang dibubut pada oil raking groove (biasa disebut sebagai slot termal).

Gambar 3.65. *Piston slot tansverse*

Slot tersebut mempunyai dua fungsi :

1. menyediakan jalan bagi oli dari dinding silinder kembali menuju pompa
2. menahan agar panas tidak menuju ke arah sisi pendorong pada skirt piston

Konstruksi piston meliputi :

- profil bubungan
- finish permukaan
- coating permukaan
- piston komposit
- keramik
- proses pengecoran
- proses tempa

Mesin-mesin empat langkah kebanyakan memiliki profil bubungan pada desain skirt (seperti yang ditunjukkan dan diperjelas dalam gambar 6) supaya dapat memuai akibat panas yang terjadi selama operasi piston. Profil bubungan bisa ground atau turned. Bentuk bubungan disesuaikan dengan desain piston. Semakin besar piston bisanya profil bubungan juga semakin besar. Untuk piston pada mobil penumpang yang umum, biasanya bentuk oval bubungan sekitar 0,5 mm atau 0,6 mm.

Gambar 3.66. Profil bubungan

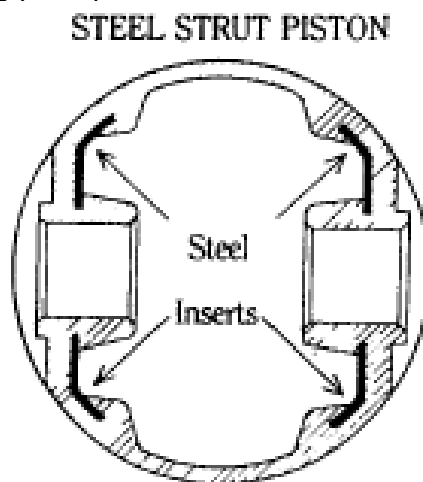
Dewasa ini kebanyakan piston diputar pada permukaan luarnya dengan menggunakan sejumlah pengontrolan pada mesin bubut. Proses ini menghasilkan finishing permukaan yang terkontrol, yang membantu menahan oli pada skirt sehingga mencegah “pengelupasan/scuffing” dan memperkecil noise.

Beberapa piston terutama tipe diesel yang lebih besar lapisan pada permukaannya untuk mengurangi scuffing pada piston pada kotak. Lapisan timah dan timah hitam lebih jarang dipakai karena sifat-sifat

anti pengelupasannya yang kurang baik. Pada skirt piston bisa disemprotkan lagi lapisan molibdenum dan grafit yang penampilannya berwarna gelap karena memiliki sifat-sifat anti-pengelupasan yang baik.

Ada piston yang terdiri dari dua buah. Piston-piston tersebut digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang berat (pada mesin-mesin besar). Kadang-kadang piston tersebut dibuat dengan skirt dari aluminium dan bagian atas dari baja.
Beberapa tahun terakhir ini digunakan material keramik untuk komponen-komponen mesin, terutama jika terjadi panas dan beban yang tinggi. Keramik dapat dicor pada puncak piston aluminium atau disemprotkan pada mahkota piston untuk menahan suhu yang tinggi.

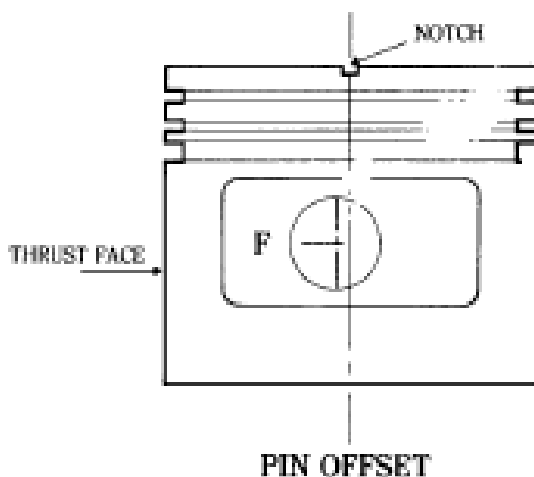
Kebanyakan piston diproduksi dengan metode ini yang menggunakan die cast gravitasi. Casting die terdiri dari beberapa buah yang dipasang bersama, kemudian aluminium leleh dituangkan ke dalamnya. Setelah didinginkan cetakan dibuka dan piston dikeluarkan. Kemudian piston diberi perlakuan panas sebelum dilakukan pembubutan.

Piston tempa dibuat dari bongkahan aluminium yang dipres pada lubang cetakan. Piston tempa lebih berat daripada piston tuang tetapi mempunyai kekuatan yang lebih baik jika digunakan pada aplikasi yang berat.
Pada desain piston strut baja terdapat strut baja yang dicor pada piston. Fungsi strut adalah untuk mengontrol ekspansi pada permukaan pendorong pada piston.

Gambar 3.67. Menunjukkan Strut pada *piston*

Karena baja mempunyai koefisien pemuaian yang berbeda dengan aluminium sehingga tidak akan mengembang sama besar, maka strut baja membantu mengarahkan panas menjauhi lokasi dorongan. Piston dengan strut baja kebanyakan menggunakan desain slot transverse.

Catatan :

Strut baja tidak memperkuat piston.

Lubang pada boss piston tidak selalu berada pada pusat piston. Lubang ini bisa berada lebih dekat pada satu sisi.

Gambar 3.68. *Offset pen piston*

Offset pen piston tidak selalu mengarah ke sisi pendorong utama piston. (Ini adalah sisi yang terdorong pada dinding silinder pada saat power stroke). Adanya offset ini bertujuan untuk mengurangi “slap piston” yang bisa terjadi pada piston ketika berganti arah pada gerakan ke bawah.

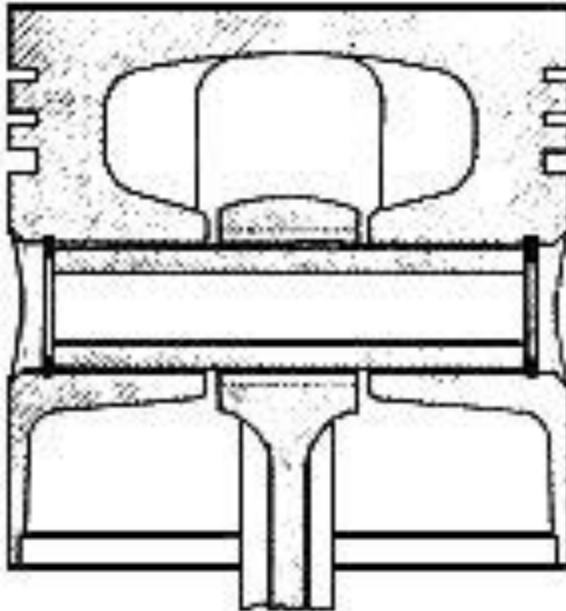
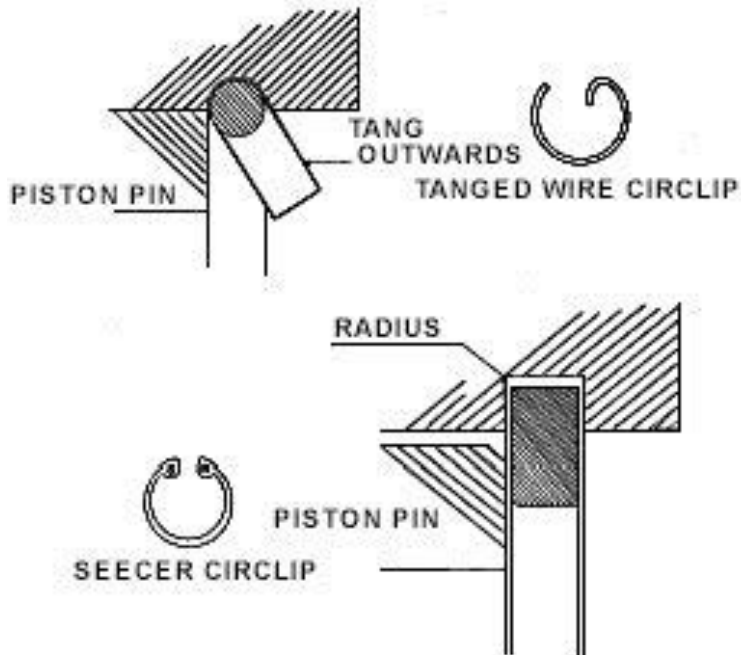
Besarnya offset sekitar 1,00 mm dan bisa diukur menggunakan vernier untuk membandingkan pengukuran dari boss pen ke skirt pada kedua sisi piston.

Selisih yang diperoleh dari pengukuran adalah besarnya offset.

Dalam melaksanakan perakitan kembali perlu diingat bahwa offset selalu terhadap sisi pendorong utama piston. Jika piston dirakit kembali secara keliru gerakan mengganjal piston pada langkah usaha akan menjadi berlebihan sehingga menyebabkan piston “menampar” dinding silinder.

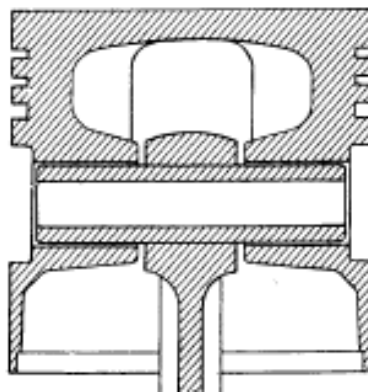
Piston membentuk bagian dari piston dan rakitan poros penghubung. Agar rakitan ini lengkap diperlukan beberapa metode untuk memasang piston pada poros penghubung.

Piston dan rakitan poros penghubung memindahkan gerak bolak balik piston menjadi gerak rotari pada poros bubungan. Agar fungsi tersebut dapat terlaksana poros penghubung harus dapat bergerak pada pen piston (pen gudgeon/pen torak).

Pen piston harus ditahan jika bergerak ke samping secara berlebihan pada boss piston, jika tidak pen akan menyentuh dinding silinder dan menyebabkan kegagalan kerja mesin.
Metode yang paling sering dipakai untuk menahan pen adalah metode *press fit* dan menggunakan *circlip*,

Gambar 3.69. *Pen piston* ditahan oleh *circlip*

Gambar 3.70. Pemasangan *circlip*

Pada metode *press fit* poros dipanasi menggunakan mesin pemanas poros yang diatur sekitar 260 derajat Celcius (gunakan tangkai pengukur panas).

Catatan :

Panas yang diberikan pada mata poros harus rata karena pemanasan yang tidak rata dapat mengakibatkan distorsi mata sehingga terjadi penjepitan yang tidak rata. Jangan menggunakan las oksiasetilene.

Gambar 3.71*. Tipe press fit*

Interferensi fit biasanya sebesar 0,03 mm. Jika terdapat keraguan maka harus diperiksa. Jika menggunakan circlip untuk menahan pen

pastikan circlip terpasang dengan benar. Gambar 3.70, menunjukkan tipe umum circlip dan detail rakitan.

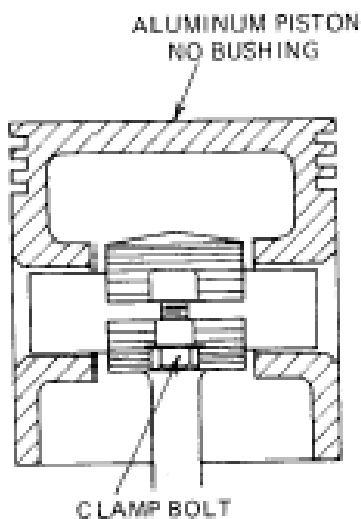
Dua tipe umum circlip adalah “seeger” dan “tanged wire”. Seeger clip dibuat oleh pabrik dengan suatu bulatan (radius) kecil. Bagian yang membulat tersebut harus dipasang menghadap ke arah pen piston, jika tidak dipasang demikian maka klip bisa terlontar.

Catatan :
Ujung klip yang membuka harus menghadap ke bawah ketika dipasang.

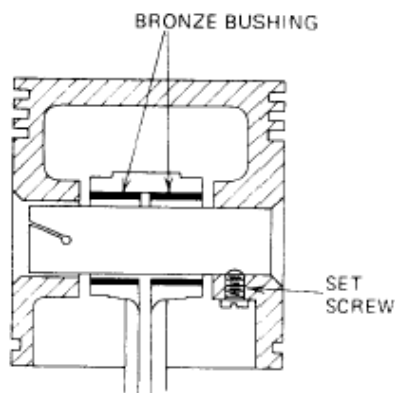
Dalam memasang circlip tipe tanged wire pasanglah klip dengan tang menghadap keluar, jika tidak dilakukan seperti itu tang akan menggores pen dan bisa patah.

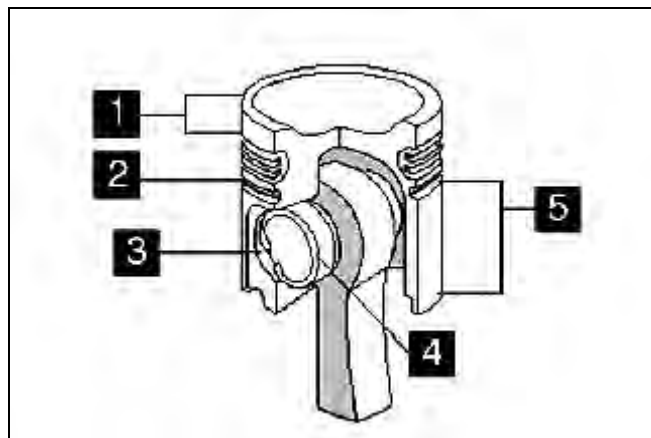
Tipe circlip yang lain adalah tangless wire circlip yang digunakan terutama pada aplikasi yang memerlukan kemampuan tinggi. Circlip dipasang dengan cara yang sama seperti klip lainnya. Kelebihan klip tipe ini adalah aksi penjepitan alur pada sisi luar pin yang mendesak klip ke alur.

Celah ujung yang ada di antara klip dan pen piston tidak boleh terlalu besar. Jika pen bergerak naik turun sedangkan klip tidak terpasang dengan benar maka pen dan klip dapat terlepas. Celah ujung pada pen dan klip biasanya sebesar 0,25 milimeter.

Beberapa tipe pin retention yang jarang digunakan misalnya tipe yang dijepit pada poros dan tipe pen permanen/fixed.

Gambar 3.72. Pen tipe jepit

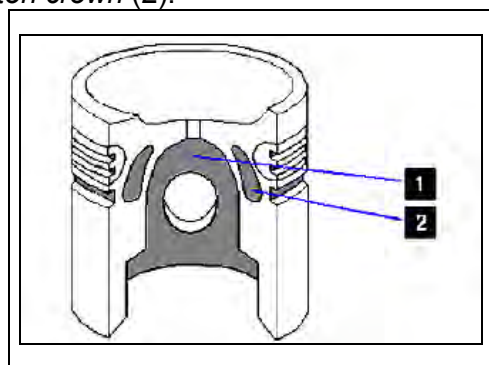
Sebagaimana telah dibahas sebelumnya piston harus dipasang dan diluruskan dengan benar pada poros-poros penghubung.
Pada *piston* sering terdapat tanda untuk menunjukkan arah perakitannya. Tanda-tanda tersebut adalah :

- Kata *“front”* tercetak pada bagian atas mahkota *piston.*
- Kata *“notch”* pada sisi atas *piston*
- Huruf F pada sisi *piston* dekat boss
- Tanda panah pada bagian atas mahkota *piston*
- Kata *“flywheel”* dengan tanda panah untuk menunjukkan arah tercetak pada mahkota *piston*

Gambar 3.73. *Pen* tipe permanen

Jika ada keraguan mengenai posisi piston padahal bagian-bagian poros harus terpasang sesuai susunannya, maka piston dapat diidentifikasi dengan menggunakan stempel penomeran.
Beri stempel/tanda pada bagian atas piston dan poros penghubung pada permukaan-permukaan bagian yang berdekatan dengan hati-hati. Topanglah piston dan poros saat menandainya.

Gambar 3.74. *Piston*

Piston (Gambar 3.74) berfungsi memindahkan gaya hasil pembakaran, dibuat dari beberapa komponen, yaitu:

1. *Crown*, yang membentuk ruang pembakaran
2. *Ring groove* dan alurnya (*land*) sebagai penahan *ring piston*
3. *Piston pin* atau *gudgeon pin bore* sebagai penghubung *piston* dengan *connecting rod*
4. *Retaining ring*, mempertahankan agar *piston pin* selalu di dalam *pin bore*.
5. *Thrust skirt* sebagai penahan beban samping

Pada bagian dalam *piston* (Gambar 3.75) dan di bawah *crown* terdapat rongga (1) dan pada beberapa *piston* terdapat lubang oli dibagian bawah *piston crown* (2).

Gambar 3.75. Bagian dalam *piston*

Piston memiliki beberapa konstruksi:

Gambar 3.76. Konstruksi *piston*

- *Cast aluminium crown* dengan *iron band* untuk *compression ring* dan *forged aluminium skirt* yang dilas secara *electron beam*.
- *Composite*, dimana *steel crown* dan *aluminium skirt* diikat menjadi satu menggunakan *bolt.*

Gambar 3.77. Pembentukan *piston*

- *Two-pieces articulated*, berupa gabungan *forged steel crown* dengan *pin bore* dan *bushing* dan *cast aluminium skirt* terpisah, digabung bersama-sama oleh *wrist pin* (Gambar 3.77).
- *Cast aluminium piston* tunggal dengan *iron band* untuk tempat *piston ring*. Model ini merupakan model yang paling umum (Gambar 3.78, kiri).

Piston terpasang pada setiap *cylinder liner* dan bergerak naik turun selama *engine* bekerja. Bagian atas *piston* berfungsi sebagai permukaan dasar ruang pembakaran.

Piston berfungsi sebagai:

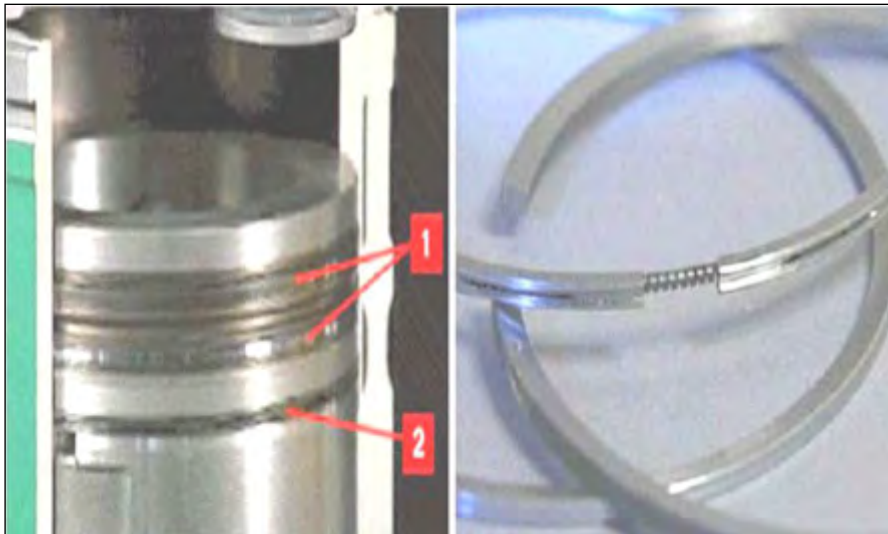
- Memindahkan tenaga hasil pembakaran ke *connecting rod* dan selanjutnya ke *crankshaft*
- Menyekat ruang bakar
- Memindahkan/menyerap panas dari ruang bakar dan memindahkannya ke *cylinder liner* yang selanjutnya dipindahkan ke air pendingin.

Gambar 3.78. Jenis *piston*

Gambar 3.78, menunjukkan 2 jenis *piston*:

- *Cylinder head* yang menggunakan *pre-combustion chamber*, menggunakan *piston* yang memiliki *heat plug* pada *crown*-nya (*piston* sebelah kanan)
- *Piston direct injection* tidak mempunyai *heat plug*

Piston merupakan komponen yang penting untuk rancangan, usia pakai dan performa keseluruhan *engine*.

Ring Piston

Gambar 3.79. *Ring piston*

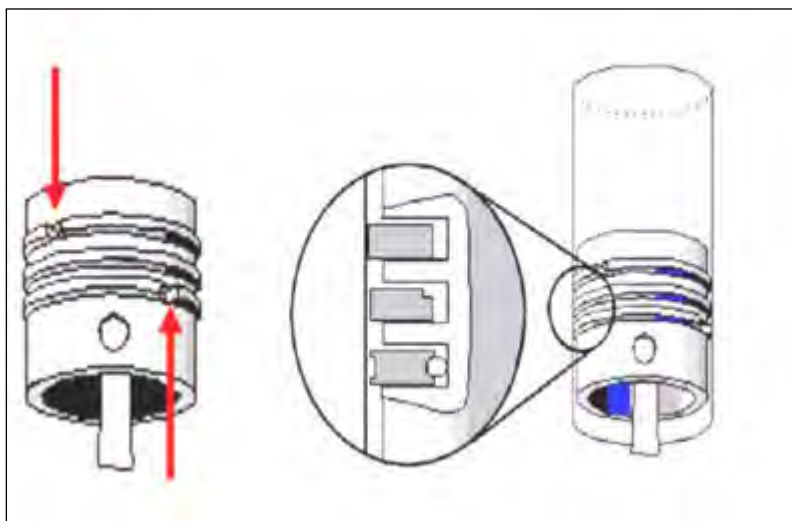
Setiap *piston* memiliki dua *ring piston* atau lebih yang terletak pada *groove piston*. *Ring piston* memiliki 3 fungsi utama:

- Menyekat ruang bakar
- Mengatur pelumasan untuk dinding *cylinder*
- Mendinginkan *piston* dengan memindahkan panas yang dihasilkan pada saat pembakaran.

Ada dua jenis *ring piston* (Gambar 3.79, kiri):

- *Compression ring* (1) atau *ring* kompresi yang berfungsi menyekat bagian bawah ruang pembakaran dengan cara mencegah agar tidak ada gas yang bocor melewati *piston*.
- *Oil ring* (2) atau *ring* oli yang berfungsi mengatur *oil film* pada dinding *cylinder* saat *piston* bergerak naik turun untuk meminimalkan keausan pada *liner*, *piston* dan *ring*. *Oil control*

ring memiliki *expander spring* yang membantu mengatur *oil film* (Gambar 3.79, kanan).

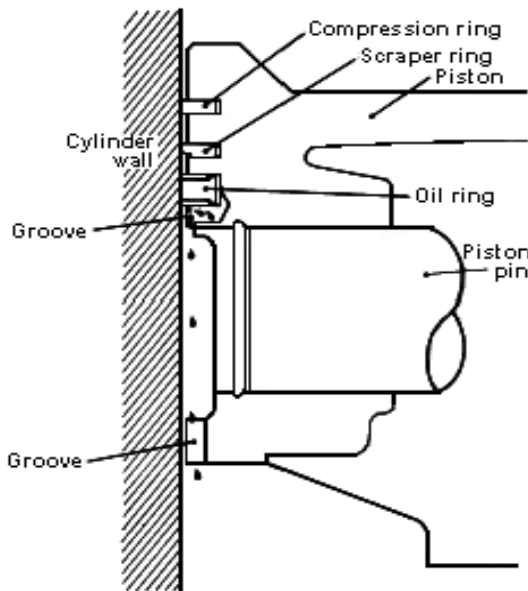
Semua *ring* memiliki lapisan yang keras agar tahan lama. Setiap *ring piston* mempunyai celah (*gap*) antara kedua ujung *ring*. Untuk mencegah kebocoran, penempatan celah pada ujung setiap *ring* ini tidak boleh disusun sebaris (Gambar 3.80, kiri).

Gambar 3.80. Konstruksi *ring piston*

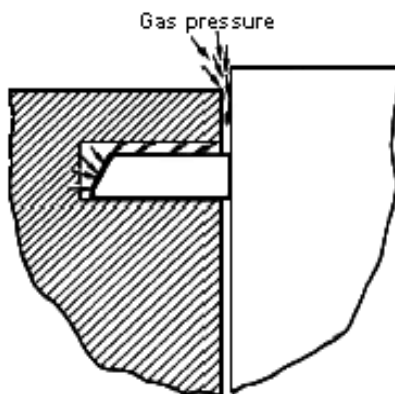
Ke-3 buah *ring piston* yang terdapat pada *engine* 3406 terbuat dari *aluminium alloy casting* dengan lapisan *cast-in nickel* untuk *compression ring*. Lapisan ini berfungsi untuk meningkatkan kekuatan *groove* (alur) dan ketahanan terhadap keausan (Gambar 3.80, kanan).

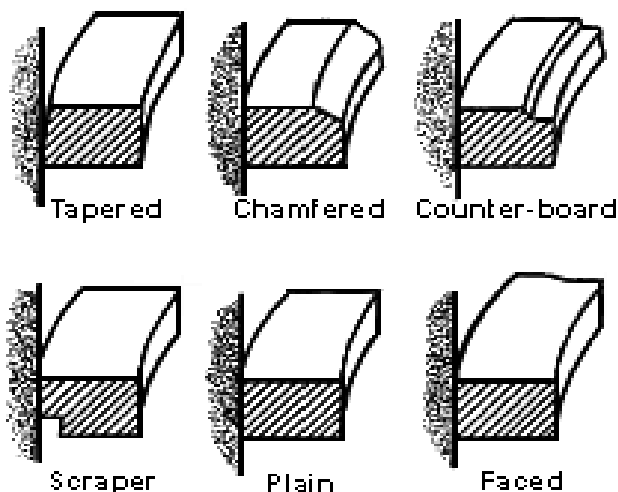
Ke-3 *ring piston* dirancang untuk memberikan kompresi yang sempurna dan pengaturan oli sambil mengurangi gesekan dan panas yang ditimbulkan. Hasilnya, meningkatnya usia pakai *piston*, *ring* dan *liner* serta mengurangi biaya perawatan sebelum *overhaul*.

Ring piston terbuat dari *nodular iron* agar kekuatan dan ketahanannya terjaga. *Oil* dan *intermediate ring* dilapisi *chrome*, sedangkan *top ring* dilapisi dengan plasma. Kedua jenis lapisan ini memberikan ketahanan terhadap keausan dan lecet (*scuff*) yang baik sekali.

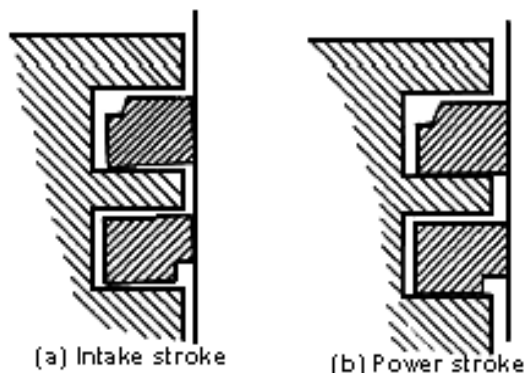
Pada torak dipasang cincin kompresi dan cincin oli. Cincin kompresi berfungsi untuk mencegah kebocoran gas di dalam silinder sementara cincin oli mengontrol oli yang berlebihan pada dinding silinder sebagai

pelumas dan sebagai perapat untuk cincin kompresi. Gambar 3.81, memperlihatkan posisi cincin kompresi dan cincin oli.

Gambar 3.81. Pemasangan *ring piston*

Tekanan kompresi dan tekanan pembakaran akan menekan cincin kompresi kearah bawah alur cincin tersebut, dalam hal ini cincin kompresi harus mampu mencegah kebocoran gas dari daerah alur tersebut sebaik cincin kompresi mencegah kebocoran pada dinding silinder. Apabila cincin kompresi lebih dari satu maka apabila ada kebocoran pada cincin kompresi pertama maka akan dicegah oleh cincin kompresi yang kedua.
Gambar 3.82. memperlihatkan bagaimana cincin kompresi mencegah kebocoran gas.

Gambar 3.82. Cincin kompresi mencegah kebocoran.

Cincin torak model datar mempunyai permukaan persegi yang berhubungan dengan dinding silinder dan cincin tersebut biasanya berbentuk empat persegi panjang.
Cincin torak model diruncingkan mempunyai permukaan yang diruncingkan pada arah depan bagian bawah cincin seperti pada gambar 3.82. adapun keruncingan tersebut kira-kira 1 derajat, dan normalnya dipasang setelah cicin kompresi pertama. Sisi luar bagian bawah yang sudutnya tajam adalah sangat baik untuk mengikis oli dari dinding silinder pada saat torak bergerak kearah bawah, tetapi juga akan mengikis sisa lapisan oli pada saat torak bergerak kearah atas.
Permukaan cincin model ini akan mengakibatkan kontak permukaan cincin dengan dinding silinder kurang baik tetapi sangatlah baik dalam pengontrolan sisa oli pelumas yang terdapat pada dinding silinder. Gambar 3.83, memperlihatkan jenis desain cincin kompresi.

Gambar 3.83. Jenis cincin kompresi

Cincin kompresi *torsional twist* mempunyai sudut di atas bagian dalam atau sudut di bawah bagian luar. Permukaan yang diruncingkan dan cincin kompresi *torsional twist* adalah berhubungan dengan arah sehingga saat memasang jangan sampai terbalik/salah.

Pada langkah usaha, tekanan pembakaran akan menekan cincin kompresi kesisi bawah alur cincin dan juga kearah dinding silinder sehingga cincin kompresi dapat mencegah terjadinya kebocoran.

Gambar 3.84. Kerja cicin torak

Cincin kompresi *torsional twist* tidak hanya mempunyai keuntungan seperti cincin kompresi permukaan diruncingkan tetapi juga dapat mencegah kebocoran dengan baik. Sejak cincin memuntir atau tidak memuntir di dalam alur, cincin juga seperti empat persegi panjang atau seperti permukaan diruncingkan. Gambar 3.84, memperlihatkan kerja dari cincin *torsional twist* pada saat langkah pemasukan dan langkah usaha.

Bahan untuk membuat cincin torak haruslah tidak mudah aus, mempunyai elastisitas yang baik dan kuat terhadap panas dan tekanan. Besi tuang adalah lebih murah dan memenuhi syarat tersebut di atas.
Kelemahan dari besi tuang adalah terlalu rapuh. Hati-hati saat melepas atau memasang cincin torak jangan sampai mnembang berlebihan karena akan mengakibatkan patah.

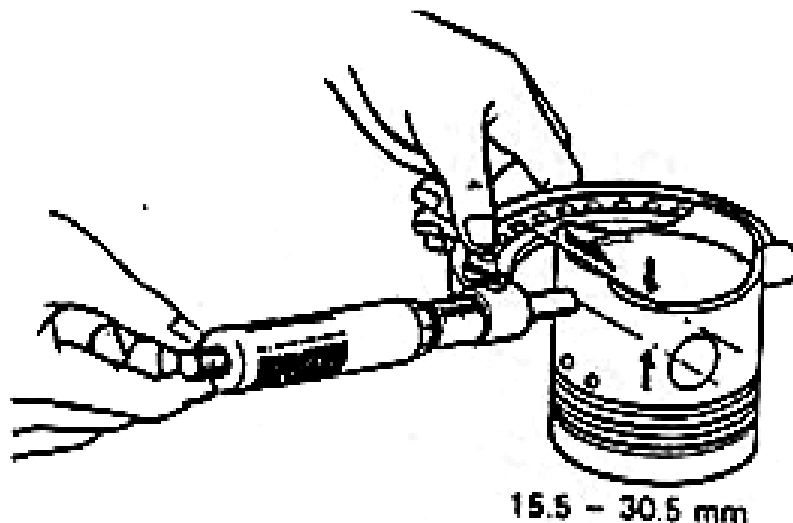
Cincin kompresi bagian atas secara khusus harus mampu terhadap panas, pelumasan sedikit, kejutan beban bilamana tekanan pembakaran naik secara tiba-tiba, tahan terhadap gesekan dan tahan lama.
Permukaan cincin torak yang terbuat dari bahan besi tuang diperkeras dengan *chromium* dan *molybdenum.*

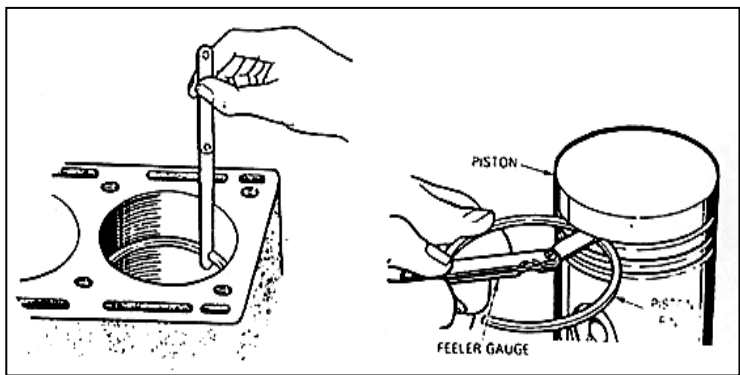
Pengerasan dengan *chromium* akan membuat tahan terhadap gesekan dan tahan lama dan pengerasan permukaan cincin torak dengan *molybdenum* adalah agar cincin tahan dan kuat terhadap temperatur yang tinggi.

Besi tuang juga digunakan untuk bahan cincin oli, pada bagian ujung rel diperkeras dengan *chrom*, atau *stainless steel*, bahan ini digunakan pada cincin oli model lembaran/terpisah. Model rel terpisah

mempunyai keuntungan lebih kuat, pleksibel, tidak terlalu tebal dan ringan.

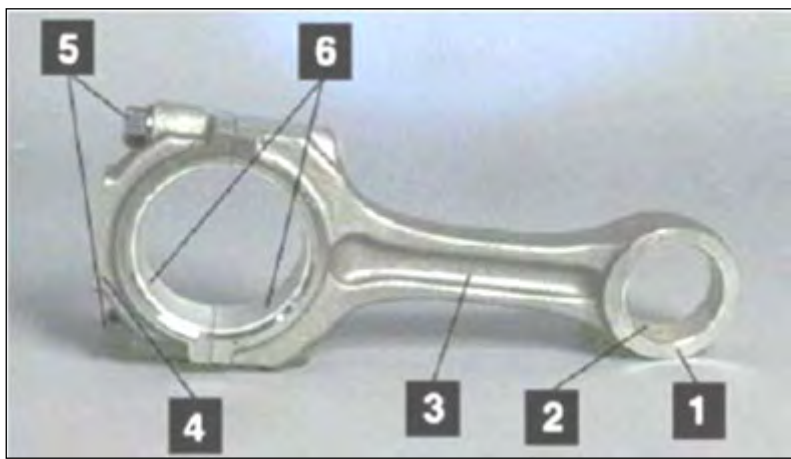
Cincin oli dengan konstruksi lembaran adalah yang paling banyak digunakan pada engine kendaraankarena mempunyai keuntungan seperti berikut, mempunyai pleksibel yang tinggi, selalu siap dengan posisi yang berubah-ubah dan permukaannya dengan permukaan dinding silinder dapat selalu kontak dengan baik. Tidak mudah terpengaruh dengan kotoran karbon hal ini dibandingkan dengan cincin oli model satu bagian/tunggal.
Sisa oli yang tidak terkikis oleh cincin oli akan masuk kedalam ruang bakar dan terbakar. Hal ini akan menyebabkan tenaga *engine* berkurang dan tumpukan karbon akan terjadi pada katup, busi dan ruang bakar yang akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna terjadi *detonasi/knocking* yang akan merusak *engine.*

Pemeriksaan terhadap torak dan cincin torak meliputi pengukuran diameter torak yang akan diuraikan berikut ini.
Memeriksa celah antara torak dengan dinding silinder, yaitu diameter terbesar silinder dikurangi diameter terkecil torak. Pengukuran torak pada posisi 15,5–30,5 mm dari torak bagian bawah pada sisi kerja. Penggunaan mikrometer luar yang sesuai diharuskan mengkalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan mengukur diameter torak.

Gambar 3.85. Pengukuran diameter torak

Setelah diameter torak diukur maka dilanjutkan mengukur celah samping cincin torak *(side clearance)* dengan menempatkan cincin torak secara terbalik pada alurnya dan mengukur celah ujung *(end gap)* dengan menempatkan cincin torak di dalam silinder, diukur dengan menggunakan *feeler gauge* seperti gambar 3.60, berikut.

Gambar 3.86. Pemeriksaan cincin torak

Batang torak/ *Connecting rod*

Batang torak adalah salah satu komponen engine yang menerima tekanan tinggi. Batang torak berfungsi merubah gerak lurus dari torak menjadi gerak putar pada poros engkol. Oleh karena itu batang torak harus kuat terhadap regangan dan kaku. Pada saat yang sama batang torak juga harus seringan mungkin agar tidak membutuhkan tenaga gerak yang besar.

Pada umumnya batang torak dibuat berbentuk H atau I, agar lebih kuat dalam bobot yang lebih ringan. Bagian ujung kecil batang torak dihubungkan dengan torak dengan jaminan pena torak, dan ujung yang lain dari batang torak yaitu ujung besar dihubungkan dengan bantalan jalan poros engkol.

Gambar 3.87. Batang torak

Connecting rod (Gambar 3.87) menghubungkan *piston* dengan *crankshaft* dan memindahkan gaya hasil pembakaran ke *crankshaft*.

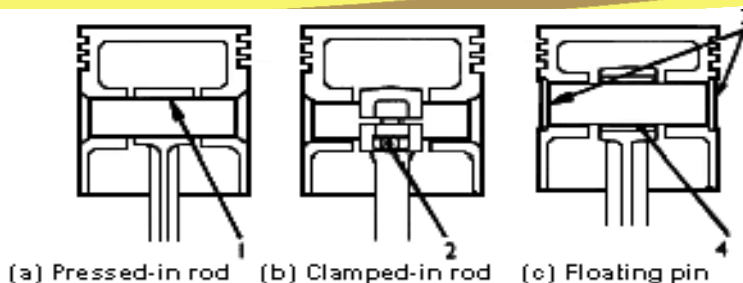
Bagian-bagian pada *connecting rod* terdiri dari:

1. *Rod eye, gudgeon-end* atau *small end* sebagai penahan *piston pin bushing*
2. *Piston pin bushing*. *Bushing* merupakan jenis *bearing* yang men-distribusikan beban dan dapat diganti bila aus.
3. *Shank* adalah bagian *connecting rod* antara *small* dan *big end*, berbentuk *I-beam* yang kuat dan kaku.
4. *Crankshaft journal bore* dan *cap* terletak pada bagian ujung besar (*big end*) *connecting rod*. Komponen ini membungkus *crankshaft bearing journal* dan mengikatkan *connecting rod* ke *crankshaft*.
5. *Bolt* dan *nut rod* mengunci *rod* dan *cap* pada *crankshaft*, disebut *crank end* atau *big end* dari *connecting rod*.
6. *Big-end bearing connecting rod* terdapat pada *crank-end*. *Crankshaft* berputar didalam *bearing connecting rod*, yang membawa beban. *Connecting rod* memindahkan gaya hasil pembakaran ke *crankshaft* dan merubah gerakan naik turun menjadi gerak putar.

Connecting rod merupakan besi tempa yang dikeraskan dan di-*shot peen* untuk membuang tegangan. Ujungnya dirancang tirus untuk memberikan tambahan bidang kontak antara *pin* dengan *bore* saat langkah tenaga. Ini menghasilkan kekuatan dan ketahanan ekstra dari *piston* dan *rod assembly*.

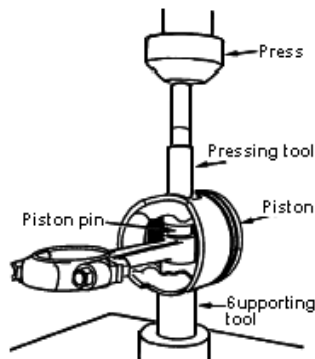
Kebanyakan batang torak diproduksi dengan tutupnya pada posisi rata, tetapi ada juga yang dibuat tidak rata. Model batang torak yang tutupnya dibuat terpisah memiliki keuntungan dimana bagian batang torak bersama torak dapat dilepas kebagian atas silinder. Kelemahannya adalah kemungkinan tegangan yang terjadi pada baut/mur pengikat.

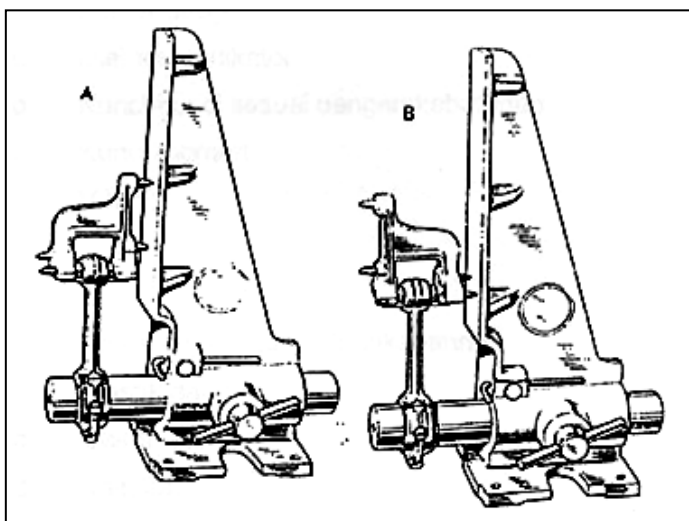
Pada bagian ujung besar batang torak dipasangkan metal sisipan, seperti yang digunakan pada bantalan utama poros engkol. Pada metal sisipan dibuat pengunci agar metal sisipan tersebut terpasang dengan kuat dan tetap dalam bentuk bulat. Dalam hal ini termasuk baut, *dowel, serration* dan lain sebagainya.

Metoda pemasangan torak terhadap batang torak ada yang mengikat pena dengan menggunakan baut/mur, *interference* antara batang torak dengan pena torak atau dengan menggunakan circlip untuk memegang pena di dalam torak. Gambar 3.62, memperlihatkan batang torak, pena torak dan pemasangan torak.

Gambar 3.88. Metoda pemasangan batang torak terhadap torak

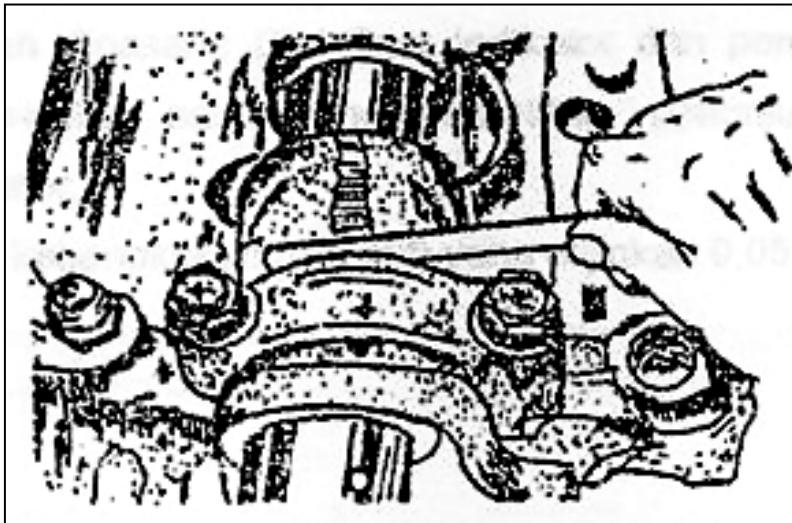
Metoda yang menggunakan circlip biasanya pena torak pada posisi *full floating* dan banyak digunakan pada *engine* disel. Metoda diikat dengan baut/mur dan dengan *interference* atau di-*press* disebut *semi floating*, metoda ini kebanyakan digunakan *engine* bensin *modern*.

Melepas dan memasang *circlip* yang menahan pena torak harus dilakukan dengan hati-hati. Dengan melepas *circlip* maka pena torak dapat dilepas dari posisinya dengan cara mendorong, apabila pena torak sulit di ke luarkan maka sebaiknya dipanasi di dalam air atau oli, ini akan mengakibatkan torak memuai sehingga pena torak mudah dilepaskan. Apabila hendak memasang maka panaskan terlebih dahulu torak, dan yakinkan bahwa torak sudah pada posisi yang benar, gunakan *circlip* yang baru dan arahkan ujung dari *circlip* mengarah pada bagian bawah torak.
Untuk melepas pena torak yang diikat dengan metoda *press* atau *interference* disediakan alat khusus, dimana alat tersebut ada sebagai landasan dan ada sebagai penekan agar kerusakan dapat dihindari.

Pena torak di-*press* dalam kondisi dingin namun pada saat memasang hendaknya ujung kecil batang torak dipanasi terlebih dahulu dan lakukanlah dengan hati-hati dan batang torak sudah pada posisi yang benar. Gambar 3.63, memperlihatkan pemakaian alat yang benar untuk melepas pena torak dengan model pengikatan press dan *interference.*

Gambar 3.89. Alat penekan pena torak

Pemeriksaan batang torak juga dilakukan untuk mengetahui gangguan yang terjadi. Pemeriksaan yang dilakukan meliputi kepuntiran dan kebengkokan yang terjadi pada batang torak, karena apabila kepuntiran atau kebengkokan telah melampaui limit yang diijinkan pabrik maka akan mempengaruhi tekanan cincin torak dan torak terhadap diding silinder dan akan mengakibatkan keausan yang cepat. Selain itu juga akan terjadi gangguan pada bantalan jurnal *crank pin* maupun *main journal* poros engkol terutama pada bantalan sisipan. Alat yang digunakan untuk pemeriksaan kepuntiran maupun kebengkokan batang torak disebut *conecting rod aligner*, dan pada saat pemeriksaan maka torak dilepaskan maka hanya tertinggal pena torak yang masih terpasang pada *small end* batang torak, seperti gambar 3.64.

Gambar 3.90. Pemeriksaan kepuntiran dan kebengkokan batang torak

Memeriksa end play batang torak

Batang torak dipasang pada poros engkol dan diukur celahnya (end play) dengan menggunakan feeler gauge, atau bisa juga diukur pakai dial test indikator (DTI)

Gambar 3.91. Mengukur celah ujung (end play) batang torak

Bearing Connecting Rod

Gambar 3.92. *Bearing* batang torak

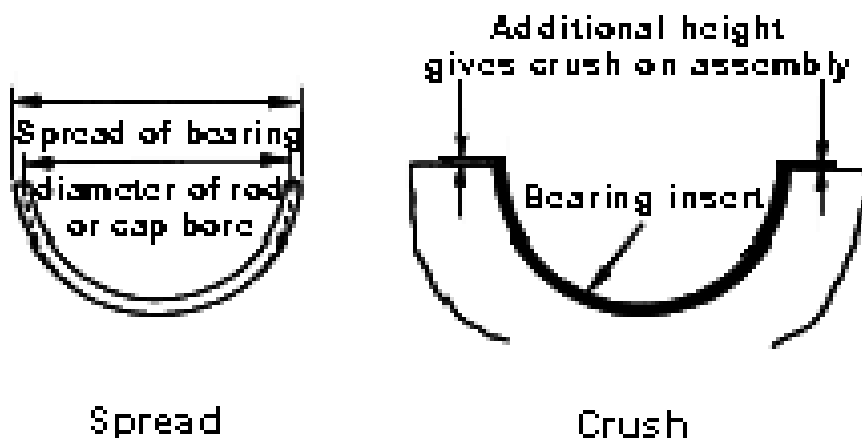
Bearing connecting rod bagian atas terpasang pada *connecting rod* dan disebut *upper half shell*. Setengah bagian lainnya terpasang pada *cap* dan disebut *lower half shell*. Normalnya *upper half shell* menahan beban lebih besar. *Locating lug* merupakan bagian yang tak dapat dipisahkan dari *bearing shell* dan digunakan untuk memastikan *bearing* duduk dengan benar pada *connecting rod* ataupun *cap*.

Bantalan mempunyai baja pada bagian belakang yang merupakan lembaran tipis dari bahan pembuatan bantalan (babbit atau metal putih) dibuat menjadi satu. Perbedaan bahan bantalan dibuat sesuai

pemakaiannya pada beban-beban yang berbeda maupun karakter desain. Perpaduan timah, tembaga dan aluminium digunakan dan dikombinasikan agar sesuai dengan fungsi atau perputaran pada bagian permukaan bantalan.

Ketahanan terhadap kelelahan adalah jangka pemakaian yang tergambar pada kekuatan bantalan di dalam hubungannya dengan kekuatan terhadap beban yang berulang-ulang, dan kemampuan lentur tanpa mengalami pecah/retak.
Memberikan kemampuan menyesuaikan diri pada bahan bantalan, adalah agar mampu mengikuti dan mengimbangi distorsi yang tidak seimbang. Bahan bantalan dibuat dengan halus dan berbentuk sama dengan bentuk jurnal agar dapat bekerja dengan tepat. Hal ini memberikan bantalan mampu terhadap beban yang diterimanya.

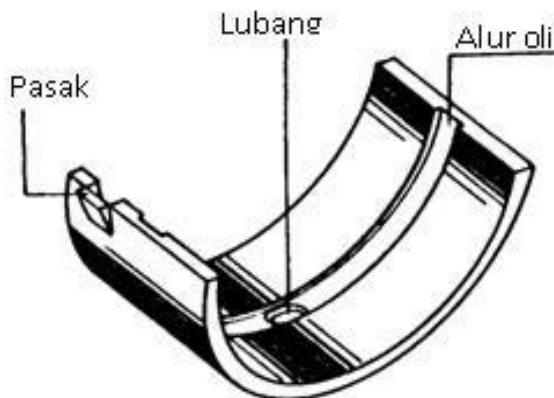
Kemampuan menyimpan adalah hal lain yang menjadi syarat bahan bantalan sisipan yang mana kotoran atau partikel dapat dibenamkan pada bantalan tersebut sehingga tidak merusak permukaan poros engkol.
Tahan terhadap karat agar tidak merusak bantalan yang diakibatkan pembentukan pengasaman dari proses pembakaran dan kondensasi.
Mampu terhadap panas, agar bantalan mampu menumpu bebannya pada saat temperatur tinggi.
Kemampuan menghantarkan panas juga merupakan suatu hal penting pada bantalan dimana panas yang diterima dapat disalurkan pada dudukan atau tutup bantalan.

Gambar 3.93, memperlihatkan bentangan/lenturan dan crush/nip bantalan.

Gambar 3.93. Bentangan dan *crush*

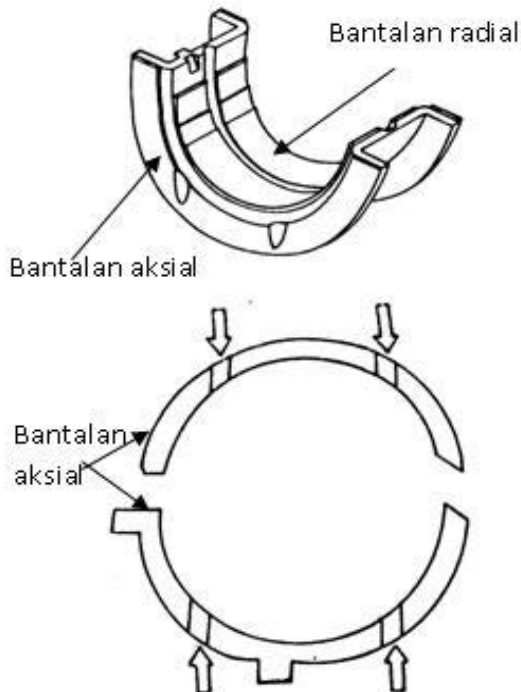
Bentangan bantalan adalah suatu proses dimana diameter bantalan lebih besar dari dudukannya hal ini agar saat bantalan dipasang pada dudukannya akan benar-benar tercengkram.
Crush bantalan adalah untuk menjamin bantalan akan duduk dengan kuat pada rumah bantalan itu sendiri. Pabrik membuat bantalan lebih besar sedikit dari lobang dudukan, hal ini dibuat agar menghindari kerusakan pada bantalan maupun pada jurnal poros engkol.
Tutup bantalan utama maupun pada bantalan jalan dibuat tanda atau nomor, hal ini dibuat agar dapat terpasang sesuai pada pasangannya masing-masing. Penomoran ini penting agar setelah pemasangan kembali, karena tingkat keausan pada masing-masing tidaklah sama dan apabila hal ini saling tertukar akan dapat mengakibatkan kerusakan atau ketidak seimbangan. Periksalah kondisi bantalan dan apabila sudah terdapat kelainan/gangguan maka sebaiknya diganti dengan yang baru.

Jenis-jenis bantalan luncur

Berdasarkan konstruksinya dapat dikelompokkan seperti berikut:.

- Bantalan Luncur Radial.
  Fungsi.
  Mendukung gaya radial pada kerja antara batang torak dengan poros engkol
  Konstruksi
  Terbagi menjadi dua bagian, agar bisa dipasang pada poros engkol, dan apabila terjadi gangguan juga akan mudah memperbaikinya.

Bantalan luncur radial

- Bantalan Aksial dan Radial
  Fungsi.
  Mengamankan poros engkol saat menerima gaya aksial, yaitu pada saat terjadi hubungan/pelepasan kopling (beban)
  Konstruksi.

Terbagi dalama dua bagian yang menyatu atau terpisah dari bantalan luncur radial terpasang pada bagian tengah dari panjang poros engkol.

Gambar 3.94. Radial dan aksial

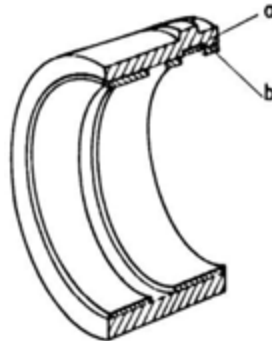
Berdasarkan bahan dapat dikelompokkan seperti berikut ini:

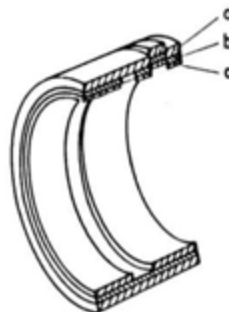
- Bantalan satu bahan

  Bantalan luncur yang terbuat dari satu bahan saja, terbuat dari besi tuang kelabu (C≈2%) atau perunggu. Pemakaian hanya untuk beban kecil

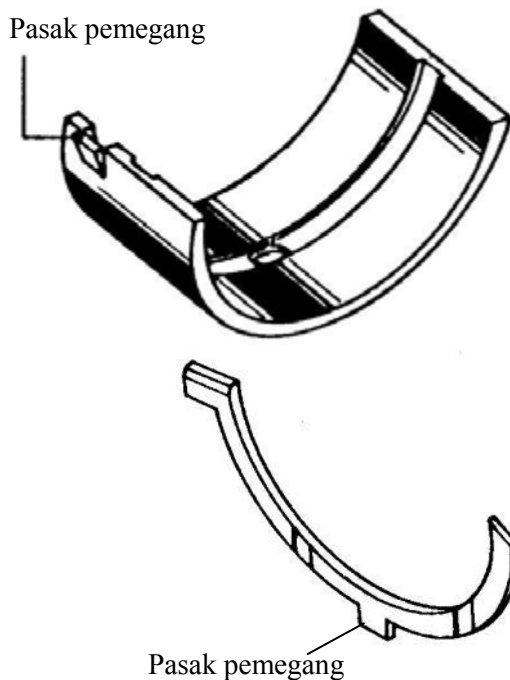
Gambar 3.95. Bantalan luncur satu bahan

- Bantalan luncur yang terbuat dari dua bahan yaitu:
  - Baja pada pendukung luar terbuat dari baja atau panduan Cn Pb Su
  - Permukaan luncur terbuat dari paduan Pb – Su
  - Pelindung luar terbuat dari paduan aluminium dan permukaan luncur terbuat dari paduan aluminium khusus.

  Sifat dari bahan ini memiliki sifat luncur yang lebih baik dan daya dukung lebih besar

Gambar 3.96. Bantalan luncur dua bahan

- Bantalan luncur yang terbuat dari tiga bahan yaitu.
  - Pelindung luar terbuat dari baja
  - Pendukung terbuat dari paduan Cu Pb Sn.
  - Tebal lapisan ≈ 0,3 – 1,5
  - Permukaan luncur terbuat dari logam putih
  - (contoh : paduan Pb Sn_{10}) secara galvanis
  - Tebal lapisan ≈ 0,01 – 0,03 mm
  - Apabila terjadi keausan yang besar pada permukaan luncur, maka pendukung akan berfungsi sebagai permukaan luncur.

Gambar 3.97. Bantalan luncur tiga bahan

Pengikatan bantalan luncur

Penempatan

Gambar 3.98. Pengikat bantalan luncur

Crankshaft

Poros engkol adalah komponen yag besar dan kuat diantara komponen yang bergerak yang terdapat pada engine pembakaran dalam. Poros engkol harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan tekanan tenaga pembakaran dan sanggup menahan dalam berbagai kondisi dan beban.

Hal-hal berikut ini adalah persyaratan yang harus dimiliki poros engkol.

- Kepadatan
- Ringan
- Mampu menahan temperatur yang berubah-ubah
- Kemampuan yang baik menahan keausan.
- Ketepatan desain
- Kemampuan menahan kebengkokan dan beban

Konstruksi Poros Engkol

Pabrik secara umum menggunakan salah satu teknik berikut ini;

- Casting
- Forging
- Billet machined

- Composite

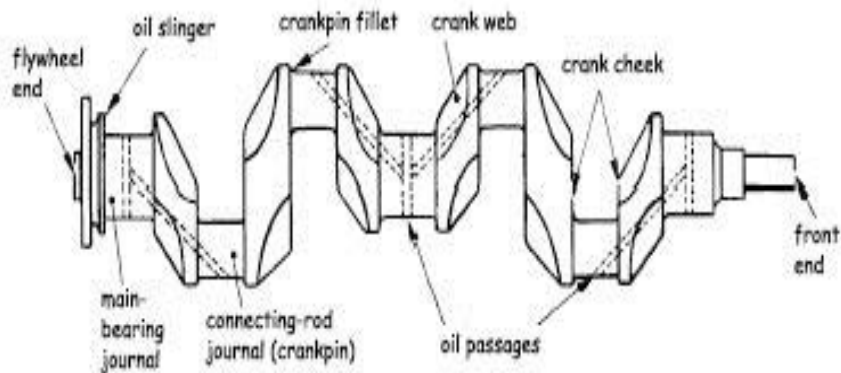
Casting adalah yang paling banyak digunakan, proses ini adalah yang paling banyak dipilih oleh pabrik pembuat kenderaan.

Forging adalah proses pemanasan pada lempengan baja hingga pada temperatur kerja selanjutnya ditempa atau dipres hingga mendapatkan bentuk yang diinginkan. Proses ini memerlukan suatu tingkat ketrampilan dan pengetahuan atau kemampuan yang sangat tinggi.

Billet adalah pekerjaan poros engkol dengan mengerjakannya dengan mesin pada batang baja padu. Poros engkol dengan proses billet adalah poros engkol dengan kemampuan tinggi dan umumnya digunakan pada pesawat engine terbang.

Pada produksi poros engkol maka *fillet* atau *radius* pada jurnalnya harus dibuat dengan tepat. *Fillet* terdapat pada bantalan duduk melingkar pada sisi pipi engkol. Pada sisi antara pipi-pipi engkol dengan jurnal poros engkol harus dibuat radius agar poros engkol dapat meredam tekanan yang tinggi dan defleksi, apabila *radius* tidak dibuat dengan tepat akan mengakibatkan kerusakan pada poros engkol.

Kebanyakan poros engkol yang digunakan pada engine otomotif dilengkapi dengan bobot pengimbang yang dipasang berlawanan dengan bantalan jalan. Pada perputaran poros engkol terutama pada putaran tinggi akan menderita getaran yang serius dan pada hal ini bobot pengimbang akan meredam getaran tersebut. Bobot pengimbang secara umum dicor menjadi satu dengan engkol bantalan poros engkol.

Beberapa pabrik membuat poros pengimbang terhadap poros engkol. Poros pengimbang harus terpasang sesuai timing terhadap poros engkol. Perhatikan gambar 4. yang memperlihatkan bentuk dasar poros engkol dan nama bagian-bagiannya.

Gambar 3.99. Bagian-bagian poros engkol

Jurnal poros engkol

Selama pembuatan poros engkol dipabrik produksi semua jurnal harus dikerjakan dengan baik dan ukurannyapun harus akurat. Jurnal-jurnal tersebut harus difinishing dengan kualitas tinggi (dihaluskan dengan ukuran batu penghalus yang tepat). *Finishing* harus dapat menjamin terpasangnya bantalan dengan tepat dan jurnal dapat meluncur dengan baik pada bantalan dengan menghindari atau meminimasi gesekan yang terjadi. Metal poros engkol diperkeras dengan proses “Nitrogen Hardening” untuk memberi penggunaan poros engkol dalam waktu yang lama. Desain engine modern menyediakan metal yang ditempatkan diantara jurnal-jurnal.

Gangguan dan Keausan Poros Engkol

Keausan atau gangguan yang terjadi pada jurnal poros engkol dapat diidentifikasi seperti; oval, tirus, goresan dan kerusakan bantalan . Hal ini adalah keausan atau gangguan yang umum terjadi pada poros engkol.

- Keovalan
  Keovalan yang terjadi pada bantalan jalan disebabkan oleh tekanan pembakaran pada langkah usaha yang terjadi secara terus menerus. Tekanan ini terjadi secara terus menerus pada bagian tertentu, hal ini akan mengakibatkan terjadinya perbedaan keausan pada bagian tersebut lebih besar dari bagian lainnya pada bantalan jalan yang bersangkutan. Hal ini akan mengakibatkan tekanan oli rendah dan engine bergetar.
- Tirus
  Penyebab utama tirus pada bantalan jalan adalah ketidak seimbangan batang piston. Tirus juga dapat terjadi akibat kesalahan pemasangan metal sisipan yang mengakibatkan metal sisipan tersebut menekan pada bagian tertentu sehingga keausan pada salah satu sisi lebih besar dari sisi lainnya.

- Goresan
  Penyebab utama goresan terjadi pada jurnal adalah servis poros engkol yang tidak benar (tidak menjaga kebersihan). Partikel-partikel karbon atau material lain yang terdapat pada bantalan dan akan tertanam pada metal yang lebih lunak, pada saat poros engkol berputar maka material tersebut akan menggores permukaan jurnal.

Kerusakan Bantalan
Kerusakan bantalan dapat diakibatkan gangguan seperti diuraikan diatas. Kelelahan permukaan bantalan diakibatkan celah yang berlebihan dapat merusak poros engkol. Penyebab lain dari kerusakan bantalan sering diakibatkan tekanan oli yang rendah.

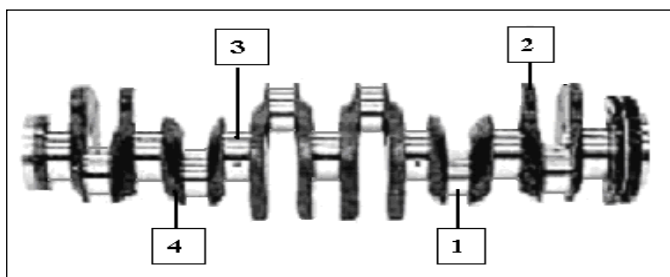
Sudut-sudut Engkol pada Engine Bersilinder Banyak

Engine 4 langkah bersilinder banyak, terlepas dari bentuk konstruksi silinder-silindernya, setiap *piston* menyelesaikan 4 langkah selama 720 derajat poros engkol berputar. Untuk putaran engine yang lebih halus akan tergantung dari interval kerja setiap silinder, sesuai dengan jumlah silindernya.

Dapat disimpulkan besarnya sudut antar engkol adalah $= \frac{720}{\text{jumlah silinder}}$

Untuk engine 4 silinder $\frac{720}{4}$ = 180 derajat

Untuk engine 6 silinder $\frac{720}{6}$ = 120 derajat

Untuk engine 8 silinder $\frac{720}{8}$ = 90 derajat

Gambar 3.100. Poros engkol

Crankshaft terbuat dari baja karbon tempa (*carbon steel forging*) yang seluruhnya dikeraskan.
Big end dari *connecting rod* memutarkan *crankshaft* (Gambar 3.100), yang terletak pada bagian bawah *engine block*. *Crankshaft* memindahkan gerak putar ke *flywheel* dan lainnya (*clucth*,

transmission dan lain-lain) dan memberikan tenaga yang cocok untuk kerja.

Bagian-bagian pada *crankshaft* terdiri dari:

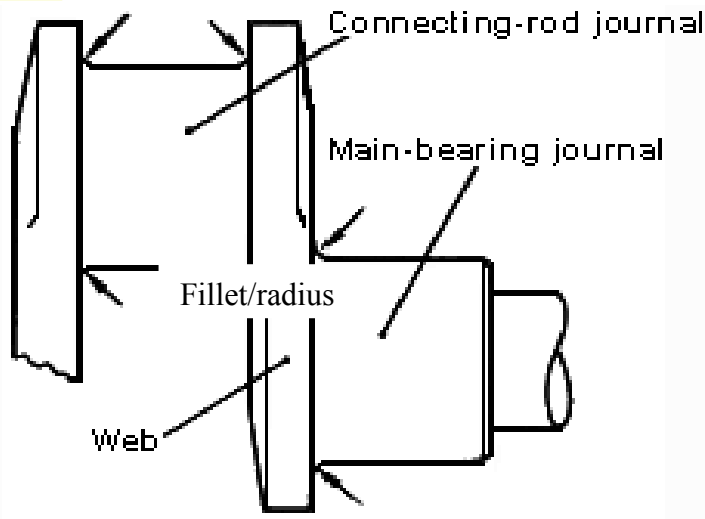
- *Connecting rod bearing journal*
- *Counterweight*
- *Main bearing journal*
- *Web*

Crankshaft untuk *in-line engine* umumnya mempunyai satu *connecting rod bearing journal* untuk setiap *cylinder*, sedangkan pada V-*engine* pada setiap *connecting rod bearing journal* menangani dua buah *cylinder*.

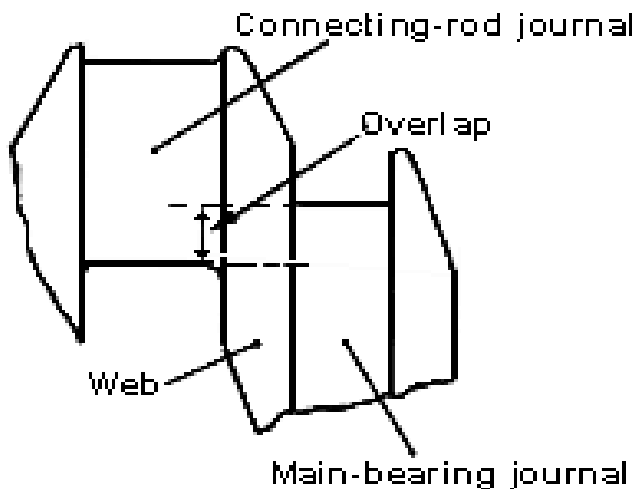
Poros engkol dipasang pada blok dengan jaminan tutup bantalan utama dan berputar di dalam bantalan sisipan yang dipasang pada bantalan utama maupun pada tutupnya. Pelumasan pada bantalan poros engkol adalah dari tekanan sistem pelumasan *engine*. Salah satu ujung dari poros engkol dipasangkan roda penerus dan ujung lainnya dipasang roda gigi penggerak poros bubungan.
Pada umumnya pabrik pembuat memproduksi poros engkol dengan menggunakan salah satu dari teknik berikut ini, *Casting, Forging* atau *Billet machine*. Cara *casting* adalah yang paling banyak digunakan pabrik pembuat kendaraan.

Cara *forging* adalah memberi panas pada bagian dari baja, dikerjakan dengan temperatur dan pengerasan atau dipres pada poros dalam bentuk yang diinginkan. Proses ini utamanya digunakan pada kemampuan dan kekuatan yang tinggi. Poros engkol *billet* dibuat dengan proses *machining* pada *billet* baja yang padat. Desain ini untuk kebutuhan poros engkol yang sangat kuat.

Pada poros engkol terdapat *fillet/radius* yang terbentuk pada pada *journal* poros engkol. Pabrik pembuat poros engkol mengerjakan bantalan utama maupun bantalan jalan dengan ketelitian yang tinggi.

Bantalan-bantalan di *finishing* dengan alat penghalus yang sangat halus. *Finishing* penghalusan permukaan sangat dibutuhkan untuk menjamin agar dapat mengurangi gesekan antara bantalan yang bergesekan (*bearing* dan *journal*).

Gambar 3.101. Fillet/Radius

Fillet atau *radius* dibuat pada seluruh sisi bantalan duduk maupun bantalan jalan untuk membuat poros engkol lebih kuat dan mencegah keretakan.

Antara bantalan duduk dan bantalan jalan dibuat berhimpitan yang tujuannya juga untuk membuat poros engkol lebih kuat. Gambar 3.102, memperlihatkan bagaimana bantalan duduk dan bantalan jalan berhimpitan.

Gambar 3.102. *Overlap* bantalan/*journal*

Pada *engine* 4 langkah dengan jumlah silinder banyak, terlepas dari berapa banyak silinder yang ada, masing-masing torak akan menyelesaikan secara utuh 4 kali langkah dalam 720 derajat poros engkol berputar. Untuk operasional *engine* yang lebih halus adalah tergantung dari *interval* derajat kerja dari setiap torak pada poros engkol.
Oleh karena itu, derajat kerja pada poros engkol seperti diterangkan di atas adalah 720 derajat dibagi dengan jumlah silinder. Untuk *engine* dengan jumlah silinder 4 maka derajat kerjanya adalah 720 derajat dibagi 4=180 derajat diantara bantalan jalan poros engkol.
Untuk engine dengan jumlah silinder 6 maka derajat kerjanya adalah 720 derajat dibagi 6=120 derajat diantara bantalan jalan poros engkol.
Untuk engine dengan jumlah silinder 8 maka derajat kerjanya adalah 720 derajat dibagi 8=90 derajat diantara bantalan jalan poros engkol.

Gambar 3.103. Keseimbangan poros engkol

Connecting rod bearing journal menentukan posisi *piston* dan kapan *piston* tersebut berada pada posisi titik mati atas (*top dead center*)
Beberapa *connecting rod bearing journal* mempunyai *lightening hole* (lubang peringan) untuk mengurangi berat dan membantu keseimbangan *crankshaft* (Gambar 3.103).

Crankshaft memiliki lubang oli untuk mengalirkan oli dari *main bearing journal* menuju *connecting rod journal bearing*. Saluran-saluran ini tertutup pada salah satu ujungnya menggunakan *cup plug* atau *set screw* (Gambar 3.103).
Counterweight digunakan untuk membantu menyeimbangkan *crankshaft* dan mengurangi vibrasi (getaran) saat *engine* berputar. *Counterweight* dapat menjadi satu dengan *crankshaft* ataupun terpisah dan diikat dengan baut dengan *crankshaft*.

Main bearing menyangga *crankshaft* pada *block* dan sejajar antara satu dengan yang lainnya.

Permukaan *main thrust bearing* (Gambar 3.104) terletak pada satu dari *main bearing journal*. *Web crankshaft* pada sisi-sisi *main bearing journal* mempunyai permukaan yang lebar yang membatasi pergerakan maju dan mundur *crankshaft*, yang disebut *end play*.

Gambar 3.104. Permukaan *Thrust Bearing*

Shell Main Bearing

Terdapat dua bagian pada setiap *main bearing* yang disebut *shell* (Gambar 3.105). *Shell* bagian bawah terpasang pada *main bearing cap* dan *shell* bagian atas terpasang pada *main bearing bore* pada *block*. *Shell* bagian atas mempunyai lubang dan alur oli sehingga oli mengalir terus pada *main bearing journal*.

Gambar 3.105. *Shell Main Bearing*

Beberapa pembuat *engine diesel* mengeraskan *crankshaft* secara induksi hanya pada *journal* dan *fillet*. Proses ini dapat mengakibatkan meningkatnya tegangan pada area antara yang dikeraskan dengan yang tidak dikeraskan. *Caterpillar* melakukan pengerasan pada seluruh permukaan *crankshaft*, sehingga dapat meningkatkan usia pakai dan kekuatan *crankshaft*. Dengan proses pengerasan yang menyeluruh ini, maka kemungkinan retaknya *crankshaft* dapat dikurangi.

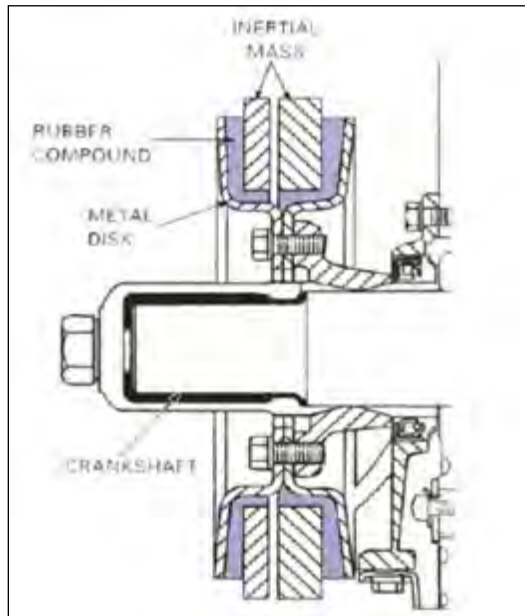
Vibration Damper

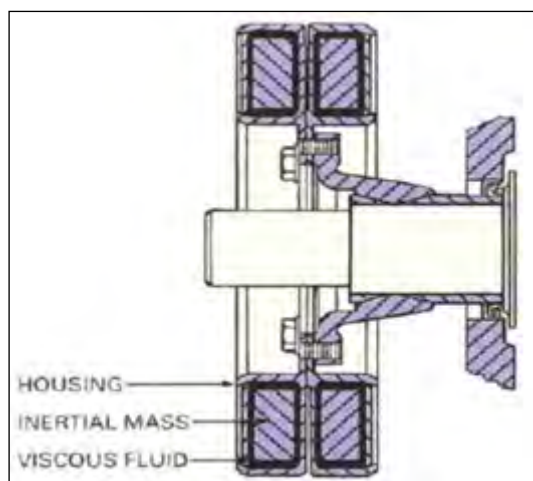
Vibration damper merupakan suatu komponen yang meniadakan getaran puntir atau *torsional vibration* yang disebabkan oleh variasi gaya (biasanya dari sekitar 3 sampai 10 ton (2.724 sampai 9.080 kg) pada *piston* dan setelah *crank*. *Torsional vibration* merupakan gaya berirama (*rhythmic force*) yang terjadi pada antara dua langkah tenaga. Hilang-timbulnya gaya pada *crankshaft* menyebabkan *crankshaft* terpuntir secara bergantian. Bila pengukuran tidak dilakukan untuk mencegah hal ini, bunyi *engine* akan kasar dan *crankshaft* akan patah.

Vibration damper jenis *viscous* atau *rubber* dipasangkan pada bagian depan *crankshaft*. Mengingat *torsional vibration* berbeda pada setiap rancangan *engine*, *vibration damper* dibuat disesuaikan dengan karakter masing-masing *engine*.

Gambar 3.106. *Rubber damper* dan *Viscous damper*

Pada bagian depan *crankshaft engine* 3406E kita akan menemukan *vibration damper* yang mengatur *torsional vibration* pada *crankshaft*. Ini merupakan miniatur dari *flywheel* yang di-*press* ataupun dibautkan pada bagian depan *crankshaft*.
Ada dua jenis *vibration damper* yaitu:

- *Rubber damper* (Gambar 3.106, kiri) menggunakan karet untuk menyerap vibrasi
- *Viscous damper* (Gambar 3.106, kanan) menggunakan oli berat dan *free-floating steel ring* untuk menyerap vibrasi.

Gambar 3.107. *Flange* campuran karet

Rubber damper terbuat dari *inner iron-alloy steel flange* yang memiliki dudukan dan *outer cast-iron weight assembly* (*inertial mass*). *Flange* bagian dalam diikat dengan pemberat bagian luar menggunakan campuran karet (Gambar 3.107).

Gambar 3.108. *viscous fluid*

Viscous damper mempunyai dua rumah (*housing*). Pemberat (*inertial mass*) dan cairan sejenis *grease* terdapat pada kedua *housing* yang dilas menjadi satu. Lebar celah antara *housing* dan pemberat adalah sekitar 0,010 in (0,25 mm). Celah inilah yang diisi dengan *viscous fluid* atau cairan kental (Gambar 3.108). *Viscous damper* harus ditangani dengan hati-hati. Bila penyok maka harus diganti.

Flywheel Assembly

Gambar 3.109. *Flywheel*

Flywheel (Gambar 3.109) terdiri dari

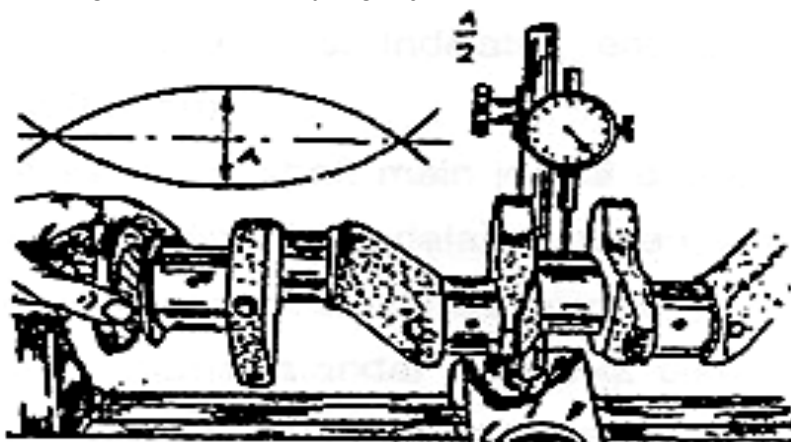
1. *Flywheel*
2. *Ring gear*, yang terdapat disekeliling *flywheel* dan digunakan untuk men-*start engine*
3. *Flywheel housing*

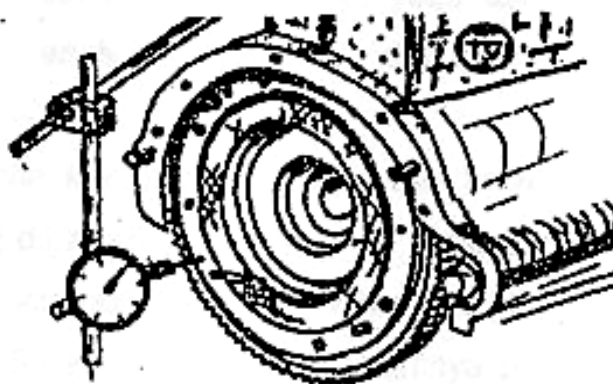
Komponen ini merupakan penghubung antara *engine* dan beban. *Flywheel* diikat pada bagian belakang *crankshaft*. *Crankshaft* memutar *flywheel* pada langkah tenaga, dan momentum pada *flywheel* membuat *crankshaft* berputar dengan halus selama terjadinya 3 langkah lain pada setiap *cylinder* pada *engine* ber-*cylinder* banyak.

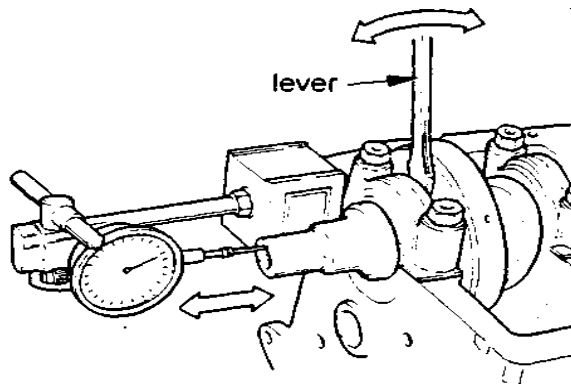
Flywheel berfungsi untuk:

- Menyimpan tenaga untuk momentum diantara langkah tenaga.
- Meminimalkan goyangan *torsional* atau *rotational* pada *crankshaft*
- Memindahkan tenaga ke *machine, torque converter*, beban atau peralatan transmissi lainnya.

Pemeriksaan yang dilakukan pada poros engkol meliputi; kebengkokan, *end play*, keausan bantalan dan celah oli.

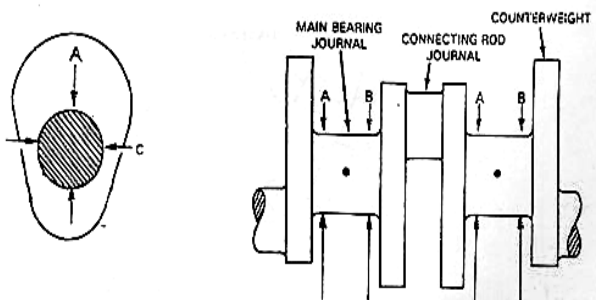
Memeriksa kebengkokan poros engkol *(round out)* dengan cara menyangga poros engkol di atas *V-block*, dan di atas meja kerja yang stabil (di atas meja perata), pada bagian *journal* tengah dipasang *Dial Test Indikator* selanjutnya jarum diset hingga memungkinkan untuk bergerak kearah kiri maupun kanan. Setelah diset maka poros engkol diputar pelan-pelan sampai satu putaran, sambil memperhatikan pergerakan jarum DTI dan mencatatnya. Angka kebengkokan adalah penjumlahan pergerakan jarum kearah kiri dan kanan dibagi dua. Limit kebengkokan *(run out)* yang diijinkan 0,05 mm (lihat manual)

Gambar 3.110. Pemeriksaan kebengkokan poros engkol

Memeriksa *run out* roda penerus, dengan menggunakan *Dial Test Indikator*, dan limit *run out* yang diijinkan 0,2 mm (lihat manual).

Gambar 3.111. Pengukuran kebalingan roda penerus

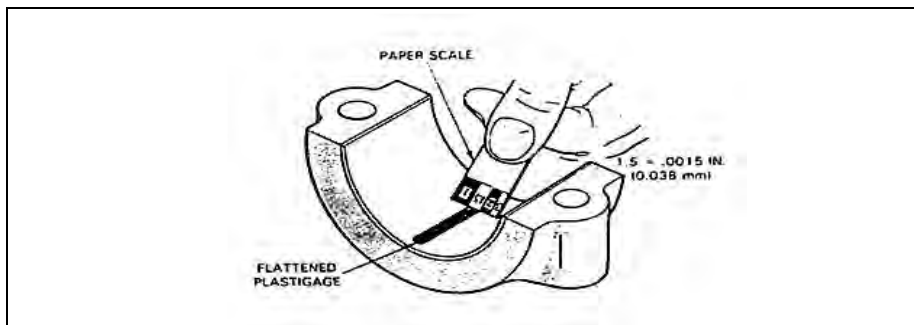
Memeriksa *end play* poros engkol dengan menggunakan *feeler gauge* atau *Dial Test* Indikator dengan cara mengarahkan poros engkol pada salah satu sisi dalam keadaan terpasang pada ruang engkol, setlah DTI kemudian kembalikan kesisi yang berlawanan, *end play* poros engkol yang diijinkan 0,3 mm (lihat manual).

Gambar 3.112. Pemeriksaan *end play*

Mengukur keovalan, ketirusan dan keausan *main journal* dan *crankpin journal* poros engkol dengan cara:

- Keausan *main journal / crankpin journal* yaitu diameter standar dikurangi diameter *journal* yang paling kecil
- Ketirusan *journal* yaitu selisih diameter pada ukuran yang sebaris memanjang pada gambar adalah selisih ØA dengan ØB, atau selisih ØC dengan ØD
- Keovalan *journal* yaitu selisih diameter pada ukuran yang sebaris melingkar pada gambar adalah selisih ØA dengan ØC, atau selisih ØB dengan ØD

Untuk menjadi patokan adalah angka yang paling besar dari hasil pengukuran dibandingkan dengan standar (buku manual)

Gambar 3.113. Mengukur diameter *journal* poros engkol

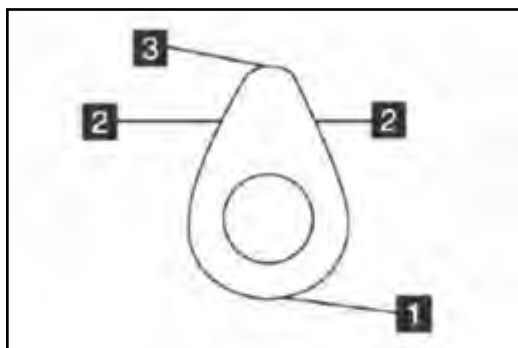
Apabila keausan, ketirusan dan keovalan sudah melewati limit yang diijinkan yaitu secara umum 0,06 mm, (lihat manual) maka poros engkol harus di *under size*. Adapun bantalan *under size* yang tersedia US. 25, US.50, US.75, dan US.100.
US.25 artinya diameter *pin journal* atau *main journal* diperkecil sebesar 0,25 mm dst.
Memeriksa celah oli pada *journal*, dapat dilakukan dengan dua pendekatan,yaitu:

- Besihkan journal dan tutup *journal*, tempelkan *plastik gauge* pada permukaan *journal,* kencangkan baut- tutup bantalan sesuai momen pengencangan (spesifikasi), hati-hati jangan sampai terputar, selanjutnya bukalah baut tutup bantalan dan lepas tutup bantalan. Kemudian cocokkanlah angka celah dengan skala yang terdapat pada bungkus *plastic gauge*.
- Pendekatan kedua adalah memasang tutup bantalan tanpa poros engkol terpasang kemudian ukurlah diameternya dan kurangkan pada diameter *journal* yang bersangkutan, selisih dari diameter ini dikatakan celah oli, walaupun hasilnya tidak seakurat *plastic gauge.*

Gambar 3.114. Pemeriksaan celah oli

Camshaft

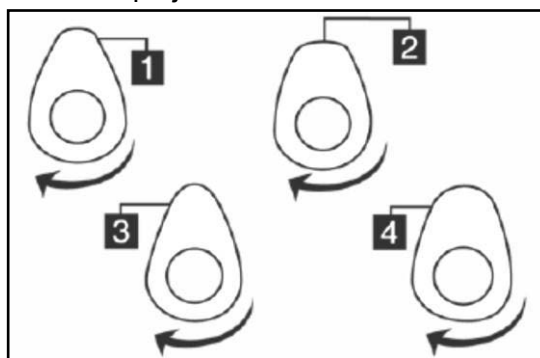
Gambar 3.115. *Cam shaft*

Camshaft terbuat dari *alloy steel* khusus yang ditempa dan dikeraskan agar handal dan tahan lama. *Camshaft gear* dipanaskan dan di *press* pada saat pemasangannya. Seluruh *camshaft* memiliki *bearing journal* dan *lobe* untuk setiap atau sepasang *valve* dan *fuel injector*.

Camshaft mengatur proses buka dan tutup *intake* dan *exhaust valve* dan pada beberapa aplikasi, juga mengatur *fuel injector*. Komponen ini dinamakan *camshaft* karena *lobe*-nya berbentuk telur atau *cam*. Saat *camshaft* berputar, *cam* akan bergerak naik-turun, menekan *cam follower* dan komponen *valve train* untuk membuka dan menutup *valve engine*. Pada saat *cam* diatas, *valve* akan membuka penuh.

Gambar 3.116. Bubungan/*cam*

Pada setiap *lobe* terdapat (Gambar 3.116):

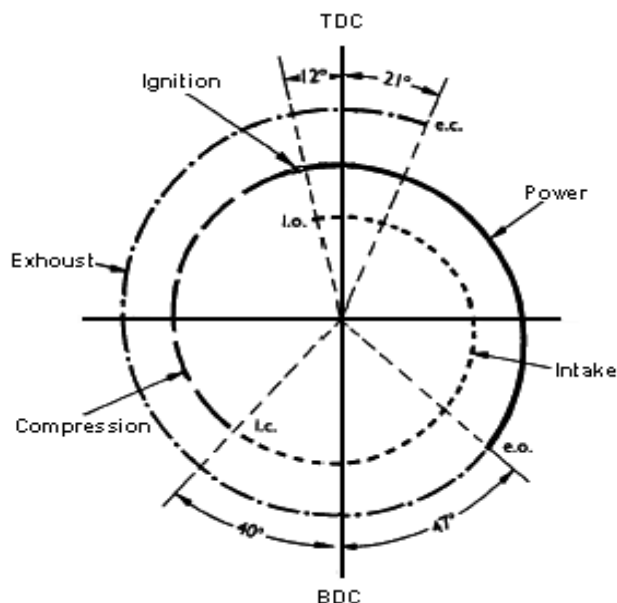
1. *Base circle*
2. *Ramp*
3. *Nose*

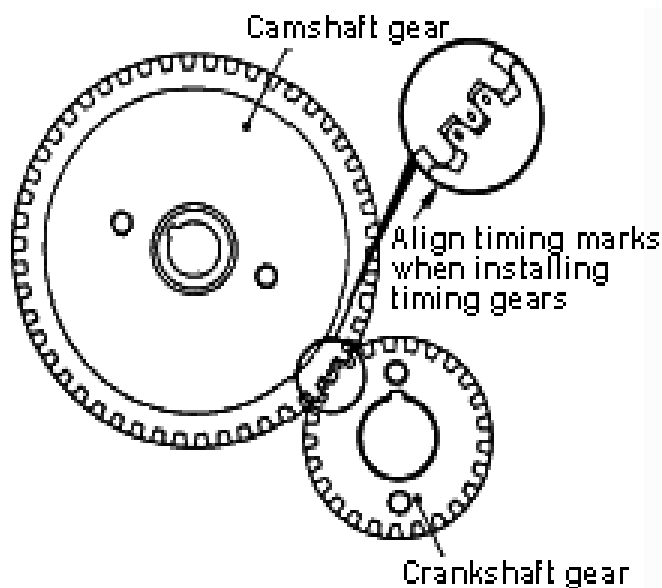
Jarak antara diameter *base circle* dan bagian atas *nose* disebut *lift* dan ini menentukan seberapa jauh *valve* membuka.

Gambar 3.117. Konstruksi bubungan

Bentuk *ramp* menentukan seberapa cepat *valve* membuka atau menutup dan bentuk *nose* menentukan berapa lama *valve* bertahan dalam posisi membuka (Gambar 3.117).

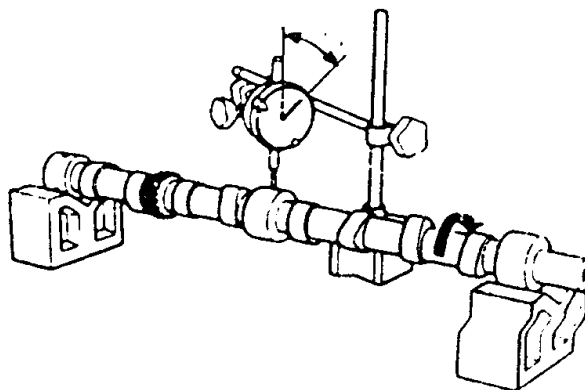
1. *Fast opening* (membuka dengan cepat)
2. *Long open period* (posisi membukanya lama)

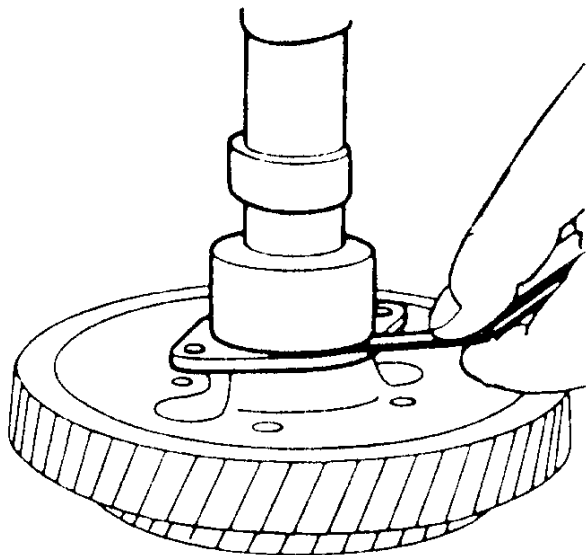
3. *Fast close* (menutup dengan cepat)
4. *Slow close* (menutup dengan lambat)

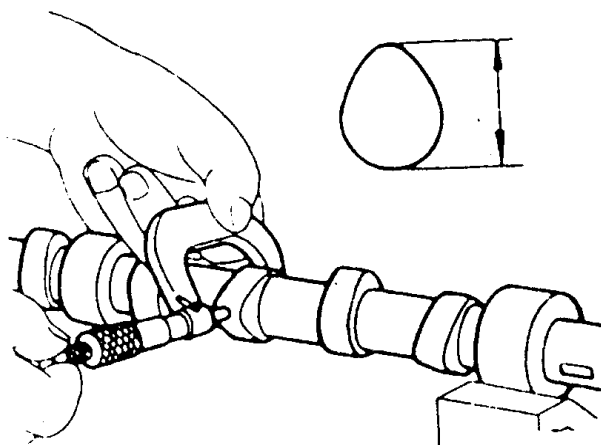
Pada *engine* 4 langkah, poros bubungan akan berputar setengah putaran poros engkol. Hal ini yang menyebabkan katup hanya akan membuka satu kali dalam 720 derajat atau satu kali dalam dua kali putaran poros engkol. Perbandingan putaran ini dapat dicapai dari perbandingan jumlah gigi penggerak antara poros bubungan dengan poros engkol.
Katup akan mengontrol pergerakan gas ke dalam maupun ke luar silinder. Lamanya katup bekerja tergantung pada jarak waktu dalam derajat katup membuka. *Overlap* katup adalah jumlah derajat putaran poros engkol, dimana kedua katup yaitu katup masuk dan katup buang sama-sama terbuka pada waktu yang bersamaan. *Lead* adalah masa yang diberikan pada katup membuka sebelum titik mati atas (TMA) atau sebelum titik mati bawah (TMB). *Lag* adalah katup tertutup setelah titik mati atas (TMA) atau katup menutup setelah titik mati bawah (TMB).

Gambar 3.118. Timing katup

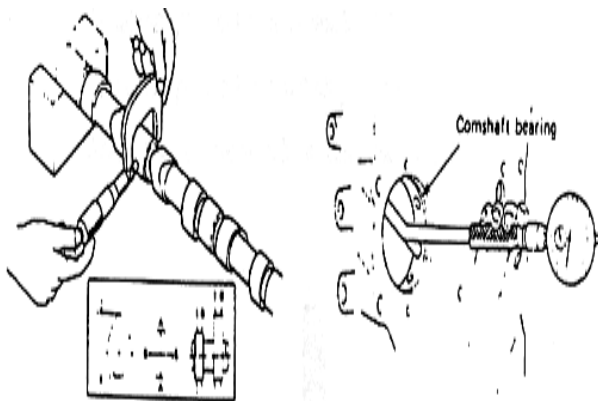
Cara yang paling sederhana dalam memutarkan poros bubungan adalah dengan roda gigi. Cara ini adalah yang selalu digunakan pada poros bubungan yang di tempatkan di ruang engkol blok. Posisi roda gigi tidaklah terlalu rumit dan menggunakan semprotan oli untuk melumasi agar dapat dicegah keausan pada rodagigi. Pembuatan rodagigi dengan menggunakan bahan dari non metal *(phenolic resin)* atau paduan aluminium akan dapat mencegah suara yang berisik.

Gambar 3.119. Rodagigi *timing*

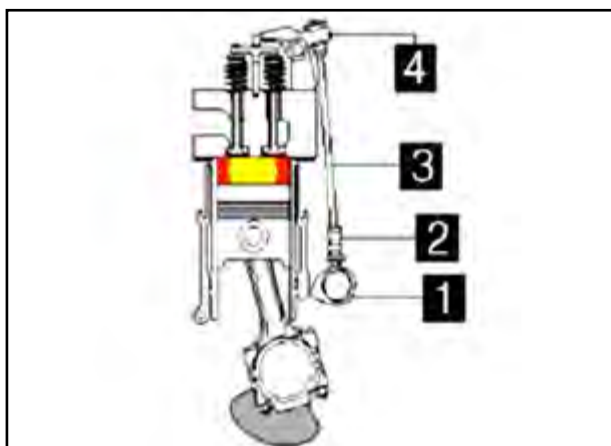
Sehubungan dengan desain dari *engine* dengan poros bubungan di kepala (OHC) maka diperlukan penggerak poros bubungan seperti rantai atau sabuk. Apabila jarak dari penggerak cukup jauh yaitu jarak dari poros bubungan ke poros engkol maka umumnya, rantai atau sabuk pemutar akan dibagi dalam dua bagian.

- Memeriksa *round out* poros bubungan, apabila *round out* poros bubungan sudah melewati limit yaitu 0,05 mm (lihat buku manual), poros bubungan harus diganti.

Gambar 3.120. Memeriksa *round out cam shaft*

- Mengukur *end play* poros bubungan dengan *feeler gauge*, apabila *end play*-nya sudah melampaui limit, *thrust washer* harus diganti dengan yang baru. Limit *end play* yang diijinkan 0,3 mm (lihat buku Manual)

Gambar 3.121. Mengukur *end play cam shaft*

- Mengukur tinggi *cam lobe* poros bubungan, apabila tinggi *cam lobe* kurang dari yang diijinkan, poros bubungan harus diganti. (lihat buku Manual.)

Gambar 3.122. Mengukur tinggi *cam lobe*

- Mengukur diameter dalam bantalan dengan menggunakan *cylinder bore gauge* dan mengukur diameter *journal cam shaft* dengan *micrometer* luar. Celah minyak yang diijinkan 0,02 – 0,04. (lihat manual)

Gambar 3.123. Mengukur diameter *journal* dan diameter dalam bantalan

Pushrod Dan Valve Lifter

Gambar 3.124. *Lifter* dan *push rod*

Komponen *valve train* seperti telihat pada Gambar 3.84, terdiri dari:

1. *Camshaft lobe*
2. *Valve lifter* atau *cam follower*
3. *Pushrod*
4. *Rocker arm*

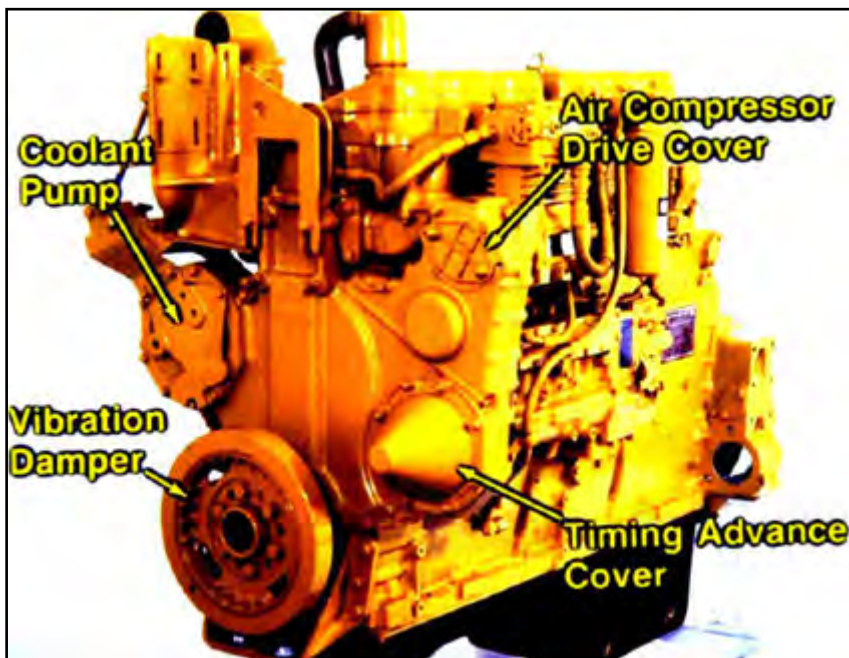
Push rod (3) merupakan tabung baja (*steel tube*) atau *rod* dengan dudukan pada kedua ujungnya. *Valve lifter* atau *cam follower* (2) duduk pada setiap *cam lobe* (1). Pada saat *camshaft* berputar, *lifter* menelusuri bentuk *cam*. *Valve lifter* memindahkan gerakan *camshaft*

ke *push rod* (3) yang lalu memindahkan gerakan tersebut ke *rocker arm* (4) untuk membuka dan menutup *valve*.

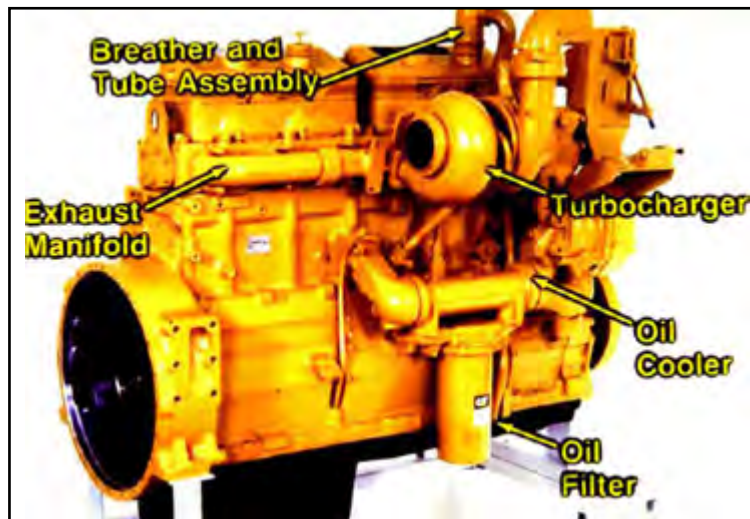
Gambar 3.125. *Valve Lifter*

Terdapat dua jenis *cam follower*, yaitu:

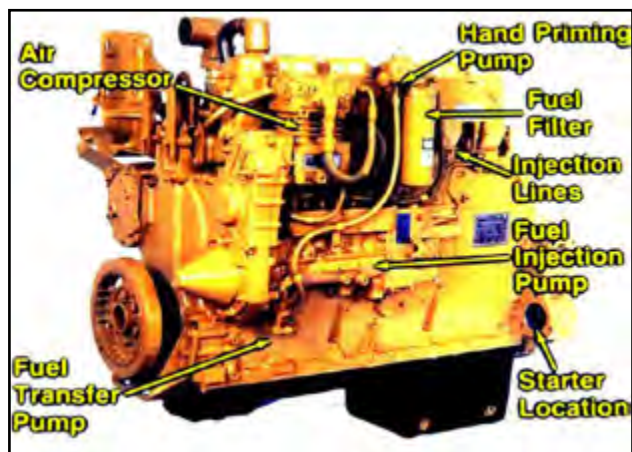
- *Roller follower* (Gambar 3.125, kiri), dengan *roller* yang telah dikeraskan dan menggelinding pada *camshaft lobe*
- *Slipper follower* (Gambar 3.125, kanan), yang memiliki *wear face* yang bersentuhan dengan *lobe*

Lokasi Komponen *Engine*

Gambar 3.126.Bagian depan *engine*

Pada bagian depan *engine* 3406B (Gambar 3.126) terdapat:

- Penutup penggerak *air compressor*
- Penutup *timing advance*
- *Vibration damper*
- Pompa *coolant* (air pendingin)

Gambar 3.127. Sisi kanan *engine*

Disisi sebelah kanan *engine* 3406B (Gambar 3.127) dilihat dari belakang ke depan *engine*, terdapat:

- *Turbocharger*
- *Exhaust manifold*
- *Oil filter*
- *Oil cooler*
- *Breather* dan *tube assembly*

Gambar 3.128. Sisi kiri *engine*

Pada sisi sebelah kiri (Gambar 3.128) terdapat:

- Lokasi dudukan *air compressor*
- Saluran injeksi bahan bakar
- *Hand priming pump*
- Lokasi *starter motor*
- *Fuel filter*
- *Fuel transfer pump*
- *Fuel injection pump*

Tergantung pada aplikasinya, *engine* dapat dipasangi dengan *fuel filter* dan *priming pump* pada lokasi yang berbeda.

Oil Cooler Transmissi

Bila diperlukan, *transmission oil cooler* (Gambar 3.89) dipasang di sisi sebelah kanan *engine*. Komponen ini digunakan pada aplikasi *machine* dan berfungsi mempertahankan suhu transmisi sesuai dengan yang diijinkan

Gambar 3.129. *Transmission oil cooler*

Cylinder Head Assembly

Melepas Cylinder head

Prosedur yang digunakan untuk melepas *Cylinder head* adalah tergantung dari tipe *engine* yang akan dikerjakan. Prosedur melepas

cylinder head tipe OHC adalah lebih rumit dibandingkan dengan *cylinder head* tipe engine OHV.

Buku Manual Bengkel menyediakan informasi dan spesifikasi yang diperlukan untuk langkah-langkah kerja.
Sebelum melepas *cylinder head* terlebih dahulu kuasai prosedur dan keselamatan kerja selalu dilepaskan Batere untuk mencegah kecelakaan anda maupun kerusakan system kelistrikan.
Menyakinkan bahwa air pendingin tidak bertekanan lagi, sebelum melepas selang radiator dan komponen lainnya, hal ini agar anda terhindar dari kecelakaan.

Selalu menggunakan alat yang sesuai dan tepat untuk melepas komponen-komponen agar Anda terhindar dari kecelakaan juga kerusakan pada komponen.
Pada *engine* dengan *Elektronik Fuel Injection* (EFI) selalu melepaskan saluran bahan-bahan bertekanan guna mencegah kecelakaan dan timbulnya kebakaran.

Bilamana melepas *cylinder head*, yakinkan bahwa rem parkir sedang bekerja. Hal ini penting, sebab apabila *cylinder head* di buka dan *engine* kehilangan kompressi, dan jika rem parkir tidak bekerja, maka kemungkinan kendaraan akan dapat maju/mundur.

Melepas

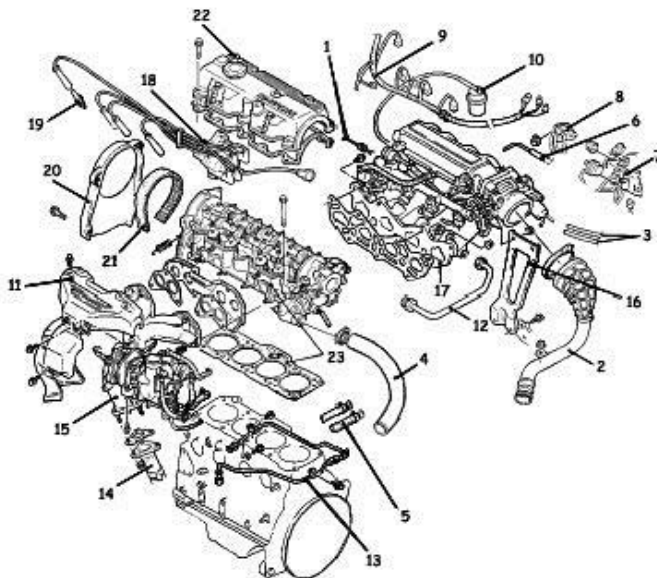
Baca buku manual bengkel untuk menguasai prosedur yang benar sebelum melepas *cylinder head*. Berikut ini adalah hal yang umum melepas *cylinder head* jenis *engine* OHC.

Yakinkan kendaraan berada pada posisi datar dengan rem parkir bekerja dan roda diganjal, hal ini agar kendaraan tidak maju/mundur dan mengakibatkan kecelakaan ataupun kerusakan.

Metoda Melepas

- Melepaskan Batere agar tidak ada aliran listrik dan menghindari kerusakan pada komponen elektronik
- Melepaskan saringan udara/salurannya, dan periksalah komponen ini dari kerusakan atau kontaminasi.
- Membuang air pendingin ke dalam wadah penampung selanjutnya lepaskan semua selang-selang *(radiator, by-pass dan heater).* Periksalah kondisi air pendingin dan kontaminasi.
- Melepaskan aliran bahan bakar. Pipa penyalur bahan bakar jangan sampai bengkok selama proses melepas *(aliran bahan bakar di beri tanda untuk memudahkan pemasangan kembali).*

- Melepaskan pipa knalpot dari *exhaust manifold*, lepaskan *manifold* apabila diperlukan (periksa kondisi *stud manifold*)
- Melapaskan tutup *rocker arm* (periksa bagian dalam tutup dari emulsi oli).
- Memutar *engine* hingga silinder no. 1 berada pada titik mati atas (TMA) yakinkan dengan memeriksa tanda timing pada roda gigi
- Melepaskan penegang setelan sabuk/rantai timing selanjutnya lepaskan roda gigi penggerak *camshaft.*
- Membuka baut-baut pengikat *cylinder head* secara bertahap dan bearlawanan, dan yakinkan bahwa dalam membuka baut-baut tersebut, dalam urutan yang benar. Ada juga dengan membuka baut-baut pengikat *cylinder head* sekaligus terlepas *camshaft* dan *rocker arms.*
- Setelah seluruh baut-baut terlepas, perhatikan hal-hal lain yang mungkin menghambat pengangkatan *cylinder head* dari blok silinder. **Perhatian** ! Jangan mendongkel permukaan *cylinder head* terhadap blok silinder. Peganglah *cylinder head* dengan benar saat mengangkat, agar anda terhindar dari kecelakaan maupun kerusakan permukaan *cylinder head*
- Setelah *cylinder head* di lepas, maka tempatkanlah dengan hati-hati dan benar di atas meja kerja. Apabila *camshaft* masih dalam keadaan terpasang, maka yakinkan katup tidak menonjol keluar dari ruang bakar. Katup akan kemungkinan dapat rusak akibat hal ini.

Perhatikan Gambar 3.130, yang memperlihatkan uraian komponen blok silinder dan *cylinder head* pada salah satu tipe *engine*.

Gambar 3.130. Melepaskan komponen grup kepala silinder

Membersihkan dan Melepas *Cylinder head*

Cylinder head seharusnya diperiksa terlebih dahulu sebelum dibersihkan. Periksa terhadap Lumpur oli, aliran air pendingin, kebocoran oli, erosi dan korosi.

Setelah anda memeriksa dan menilai *cylinder head*, tempatkanlah pada sepasang penyanggah khusus dan lepaskan *camshaft* apabila memungkinkan. *Retaining* pendukung *camshaft* dan bantalannya agar disimpan secara berurutan.

Setelah melepas *camshaft*, maka pegas katup harus ditekan, guna melepas pengunci katup. Pengunci akan secara bersamaan dijamin dengan *retainer* pegas katup. Tap dari retainer dengan palu akan menyebabkan *seal* antara *rollet* dengan *retainer* menjadi pecah.
Setelah dipukul dengan palu, selanjutnya dengan menggunakan alat penekan pegas katup, tekanlah pegas katup, sehingga pengunci dapat dilepaskan.

Apabila pengunci dan komponen lainnya dilepaskan, tempatkanlah pada wadah yang telah tersedia.

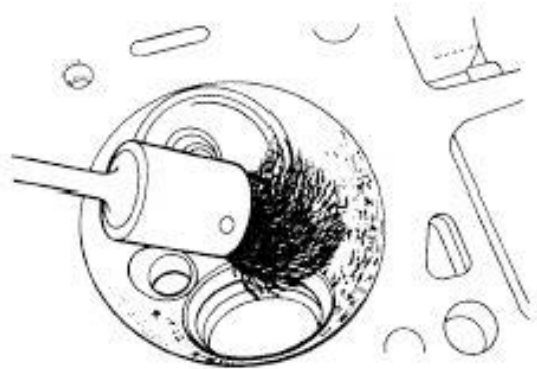
Setelah semua pegas aktup sudah dilepas lanjutkanlah melepas katup-katup dan tempatkan secara berurutan. Metoda yang umum dalam menyimpan katup-katup adalah dengan cara memasukan batang katup pada suatu plat yang telah berlubang (dibor) sehingga akan memudahkan penyimpanan dan penandaan/penomoran.

Apabila katup sulit dikeluarkan dari penghantar maka ujung batang katup mungkin perlu dikikir dengan kikir halus untuk membuang bekas tumbukan *rocker arm*.

Apabila perlu alur pengunci juga dibersihkan dari kotoran.
Membersihkan *cylinder head* dengan cairan pembersih untuk menghilangkan bekas gasket atau karbon yang menempel.
Pada permukaan *cylinder head*, dan dalam hal ini harus hati-hati agat tidak terjadi kerusakan permukaan *cylinder head*, khususnya *cylinder head* yang terbuat dari aluminium sangat mudah tergores.

Karbon dibersihkan dari ruang bakar dan saluran dengan menggunakan sikat kawat halus yang dipasang pada bor tangan. **(Perhatian : jangan memasang sikat kawat halus pada gerinda dudukan, karena akan lepas. selalu gunakan pakaian pelindung dan kaca mata pada saat anda menggunakan sikat kawat halus)**.

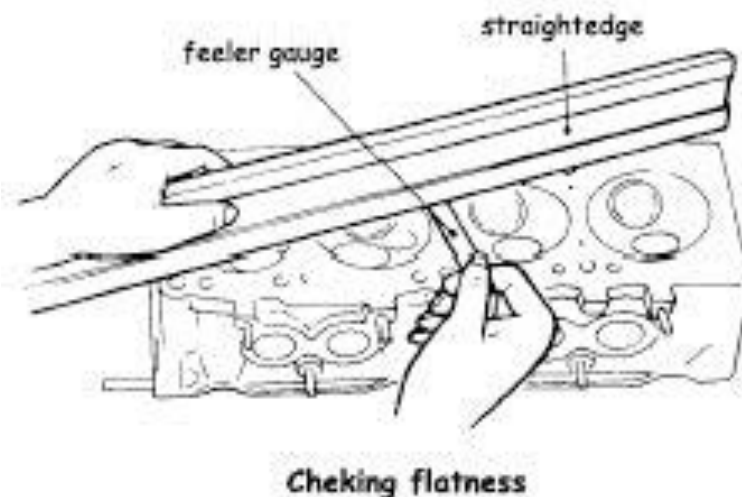
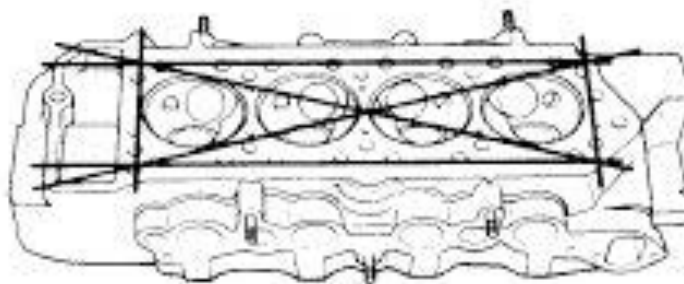
Metoda lain yang umum digunakan membersihkan karbon adalah dengan menggunakan bead blaster, namun kemungkinan *cylinder head* membutuhkan perataan permukaan.
Setelah *cylinder head* selesai dibersihkan, maka dilanjutkan memeriksa kerataan, kertakan, korosi dan Erosi.

Perhatikan Gambar 3.131 dan 3.132, yang memperlihatkan membersihkan dengan menggunakan kawat halus dan sekrap.

Gambar 3.131. Sikat kawat halus

Gambar 3.132. Membersihkan dengan sekrap

Kerataan Permukaan *Cylinder head*

Pemeriksaan distorsi *cylinder head* adalah hal yang pertama dalam proses perbaikan. Peralatan yang diperlukan untuk memeriksa distorsi permukaan *cylinder head* meliputi : sekrap gasket, *straight edge* dan *feeler gauge*.

Untuk memeriksa distorsi pada *cylinder head*, adalah dengan menempatkan stright edge pada permukaan *cylinder head* secara menyilang seperti diperlihatkan Gambar berikut, selanjutnya ukurlah distorsi dengan menyisipkan *feeler gauge* diantara *straight edge* dengan permukaan *cylinder head*.

Gambar 3.133. Mengukur Distorsi

Checking locations

Gambar 3.134. Posisi Pemeriksaan

Maksimum distorsi yang diijinkan dapat dilihat pada buku manual bengkel, dan secara umum sebagai pedoman adalah sekitar 0,08 mm untuk 150 mm atau 0,003" untuk 6".

Apabila *cylinder head* terdistorsi, maka harus diratakan untuk menjamin camshaft berputar dengan bebas. Sebelum membentuk dudukan katup, maka terlebih dahulu pekerjaan meratakan permukaan *cylinder head* dikerjakan, karena pada saat meratakan permukaan *cylinder head* dapat terjadi pergeseran keseimbangan penghantar katup dan dudukan katup.
Untuk meratakan permukaan *cylinder head* dibutuhkan mesin yang dapat menjamin kerataan terhadap permukaan blok silinder.
Bilamana memeriksa kerataan permukaan *cylinder head* tipe OHC, maka keseimbangan/kelurusan tempat *camshaft* juga harus diperiksa. Pemeriksaan tempat pemasangan camshaft adalah sangat penting sekali, seperti terjadinya distorsi pada permukaan *cylinder head* sdah melebihi limit spesifikasi kelengkungan, tetapi masih didalam limit servis, maka permukaan *cylinder head* masih dapat diratakan dengan mesin perata, namun apabila tempat pemasangan *camshaft* tidak dapat lagi diperbaiki, maka *cylinder head* tidak perlu lagi diratakan tetapi sudah masuk kategori rusak dan tidak dapat diperbaiki lagi.

Setelah *cylinder head* selesai diratakan dengan menggunakan mesin gerinda perata, yakinkan bahwa *cylinder head* masih dalam spesifikasi untuk menjamin perbandingan kompresi. Setelah selesai penggerindaan permukaan *cylinder head,* selanjutnya bersihkanlah sisi ruang bakar yang tajam untuk menghindari produksi bara api saat *engine* dihidupkan dan merusak silinder.

Pemeriksaaan Keretakan

Pemeriksaan keretakan selalu dilakukan dalam pekerjaan perbaikan *cylinder head.* Secara penglihatan sudah dilakukan untuk mengetahui

keretakan, namun mungkin saja keratkan tidak terlihat oleh mata, tetapi harus menggunakan alat-alat khusus memeriksa keretakan. Ruang bakar adalah bagian yang sering ditemukan keretakan dan keretakan diakibatkan oleh panas yang berlebihan *(overheating).* Pada operasionalnya temperatur yang terjadi pada ruang bakar adalah sangat tinggi sekali, dan jika kelebihan panas *(overheating)* dan air dingin maka keretakan akan semakin jelas kelihatan.

Ada empat metoda utama untuk mendeteksi keretakan yaitu:

- Sinar Ultra Violet.
- *Magnetic Power* dan *Spray*.
- *Dye penetrant* dan *pressure testing*.

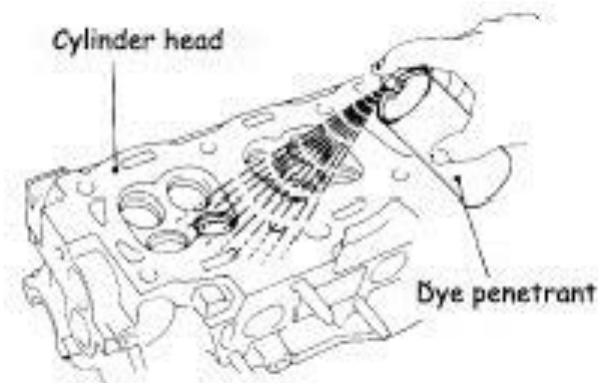
Terdapat dua cara yang paling umum digunakan yaitu:

- *Magnetic Powder*
- *Dye Penetrant*

Dye penetrant adalah yang paling popular digunakan karena cocok untuk memeriksa *cylinder head* yang terbuat dari bahan aluminium maupun besi tuang kelabu.

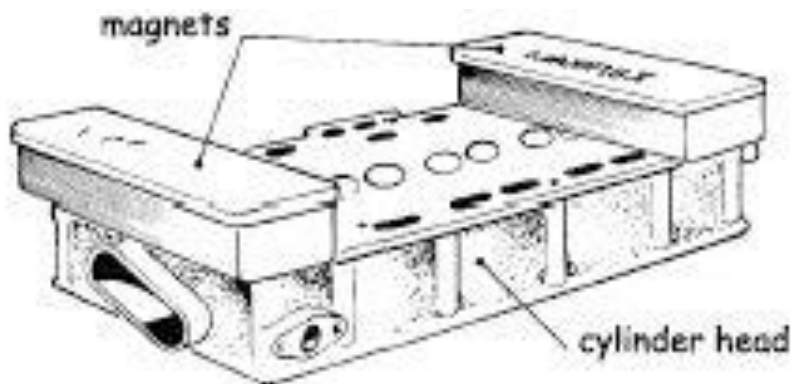
Mendeteksi keretakan dengan *dye penetrant* adalah sangat mudah.

Ruang bakar dan saluran terlebih dahulu dibersihkan dengan semprotan cairan no.2 dan cairan ini akan merambas masuk ke bagian-bagian yang retak.Setelah dibiarkan untuk waktu yang dianjurkan, maka dilanjutkan dengan penetrant no. 3, untuk membantu menghilangkan *dye*. Pengembang no. 4 pada akhirnya disemprotkan dan jika ada keretakan maka akan dikembangkan dengan *dye* dan terlihat garis-garis warna merah yang dapat dilihat sebagai pertanda keretakan.

Lihat Gambar 3.135, yang memperlihatkan sistem deteksi *penetran*.

Gambar 3.135. *Dye Penetrant*

Sistem pendeteksian keretakan dengan magnetik mempunyai keuntungan dan kerugian. Keuntungan system magnetik dapat digunakan berulang-ulang dibandingkan *dye penetran*. Apabila dalam memeriksa keretakan dengan sistem magnetik, maka elektromagnetik ditempatkan pada sisi ruang bakar, aliran listrik bertegangan rendah

digunakan untuk memagnitkan ruang bakar. Selanjutnya bubuk magnetik ditaburkan secukupnya ke ruang bakar. Serbuk ini akan berkumpul pada bagian yang retak sehingga dapat kelihatan.

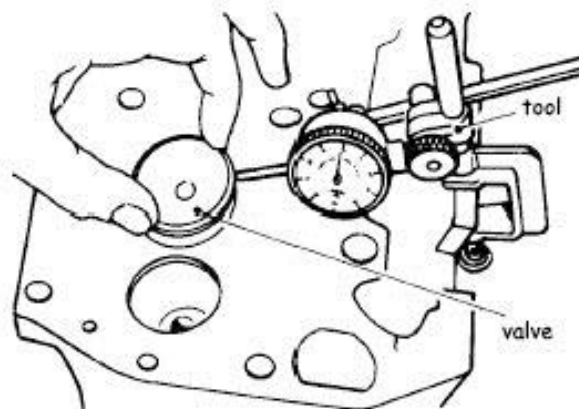
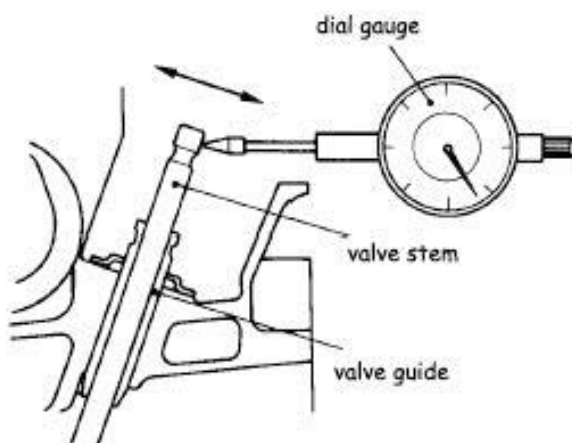
Kerugian sistem ini adalah hanya dapat digunakan pada bahan *ferro*, dan bubuk magnetik tidaklah terlalu handal untuk menentukan keretakan.
Lihat Gambar 3.136, yang memperlihatkan sistem deteksi keretakan dengan magnetik.

Gambar 3.136. Sistem magnetik

Keretakan dapat terlihat secara normal di sekitar dudukan katup buang, diantara dudukan katup masuk dan katup buang dan sekitar lubang busi.

Metoda perbaikan keretakan adalah bervariasi. *Cylinder head* yang terbuat dari aluminium secara umum pengelasan adalah yang terbaik. *Cylinder head* yang terbuat dari bahan besi tuang kelabu tidaklah semudah mencetaknya apabila dengan cara pengelasan. Metoda yang banyak dilakukan adalah dengan cara memberikan pada bagian yang retak dan memberinya penyumbat, dengan berhimpitan secara teratur, dan selanjutnya sumbatan-sumbatan tersebut di tekan dengan alat tekan pneumatic. Setelah selesai maka ruang di gerinda untuk membentuk seperti bentuk semula.

Penghantar Katup
Penghantar katup adalah merupakan hal penting dalam konstruksi *cylinder head*. Penghantar katup untuk menjamin kerja katup bekerja dengan benar terhadap dudukannya, sehingga tidak terjadi kebocoran antara katup dengan dudukannya.

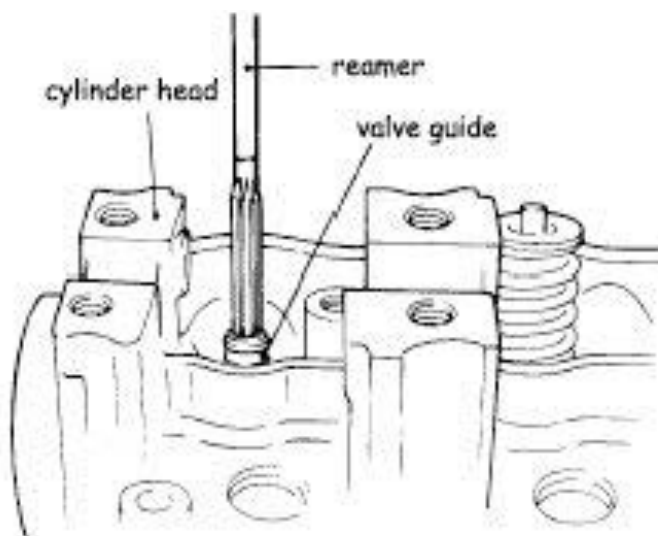
Ada 2 cara mengukur keausan antara penghantar katup dengan batang katup.

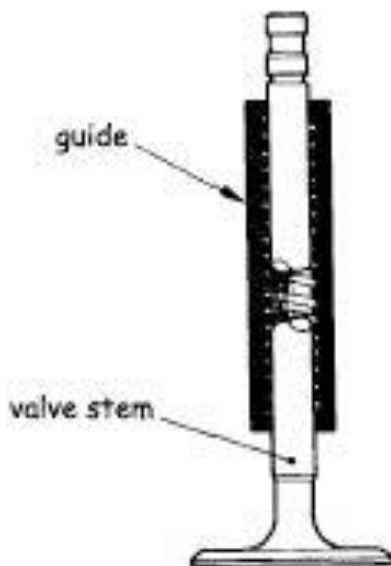
- Menempatkan *Dial Indikator* pada *cylinder head* dengan mengarahkan jarum pada kepala katup atau ujung batang katup, kemudian gerakkanlah katup dari satu sisi lainnya dan bacalah pergeseran jarum indikator pada skalanya. Metoda ini akan memberi hanya celah antara penghantar dengan batang katup, tidak dapat diketahui keausannya, lihat Gambar 3.137 dan 3.138.
- Untuk pengukuran yang lebih tepat adalah dengan menggunakan *telescopic gauge* dan mikrometer.

Gambar 3.137. DTI pada cylinder head

Gambar 3.138. DTI pada ujung batang katup

Terdapat dua jenis penghantar katup yang digunakan pada *engine* secara umum yaitu penghantar *Integral* dan penghantar yang disisipkan dapat dilepas.

Penghantar katup i*ntegral* atau yang tidak dapat dilepas digunakan pada *cylinder head* dengan bahan besi tuang kelabu, dimana penghantar secara bersama-sama dicetak menjadi satu kesatuan sebagai bagian dari *cylinder head original*.

Keuntungan penghantar katup *integral* adalah penghantar *integral* secara menyatu di cetak bersama *cylinder head*, oleh karena itu perpindahan panas dari katup ke air pendingin sangat efisien. *Cylinder head* yang terbuat dari besi tuang kelabu tingkat keausan penghantar katupnya lebih baik.
Mereklamasi (rekondisi) penghantar katup *integral* dapat dilakukan dalam tiga metoda.

- Diameter dalam penghantar katup di rimer dan menggunakan batang katup yang *oversize*. Lihat Gambar 3.139.

Gambar 3.139. Merimer Penghantar Katup

- Untuk mengembalikan ukuran penghantar katup dapat dilakukan dengan memberi sleeve yang baru, umum sebelumnya penghantar katup terlebih dahulu di rimer, selanjutnya boss yang baru dimasukkan ke dalam penghantar yang telah di rimer, dengan cara menekan dengan tepat, selanjutnya boss yang baru dirimer dengan 3 tingkatan/tahapan hingga di dapat celah antara batang katup dengan penghantar katup dengan tepat sesuai spesifikasi. (lihat gambar 3.140)

Gambar 3.140. Pelumasan pada penghantar katup

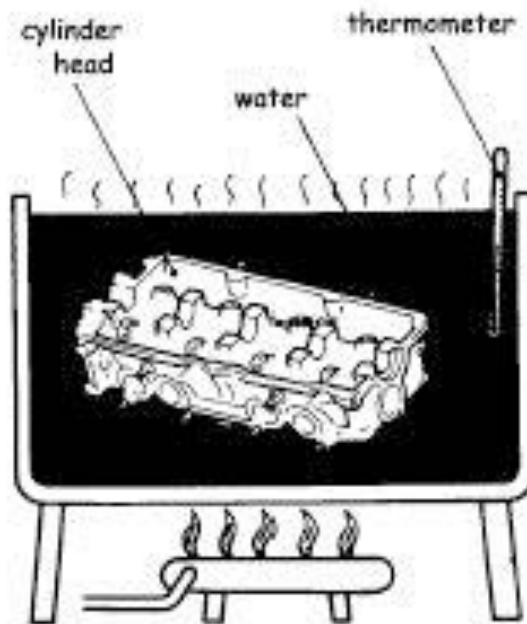
Catatan:

Beberapa pabrik membuat celah antara penghantar katup dengan batang katup lebih kecil untuk katup masuk dibandingkan katup buang, hal ini karena katup buang mempunyai temperatur kerja yang lebih tinggi dibandingkan katup masuk.

Penghantar Katup yang Dapat Dilepas

Penghantar katup yang dapat dilepas digunakan pada *cylinder head* yang terbuat dari bahan aluminium, seperti diketahui aluminium adalah bahan yang lunak dan umur pemakaian penghantar katup lebih pendek. Untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan penghantar katup dari bahan baja.

Sebelum melepas penghantar katup, terlebih dahulu diteliti dari kerusakan seperti coakan terbakar, atau timbunan karbon, karena hal ini dapat merusak lubang saat penghantar katup dilepas.

Cylinder head harus dipanaskan terlebih dahulu hingga kira-kira 90^{o}C. Setelah tercapai temperatur tersebut selanjutnya lepaskanlah penghantar katup dengan cara menekan dengan pendorong khusus lihat Gambar 3.141 dan 3.142.

Gambar 3.141. Memanaskan Cylinder head

Gambar 3.142. Mendorong penghantar katup

Salah satu cara memasang kembali penghantar katup adalah dengan menyakinkan bahwa lobang penghantar katup sudah benar-benar bersih dan dibersihkan dalam temperatur 90^{o}C, selanjutnya oleskan oli ringan pada penghantar katup, kemudian masukkanlah ke lubangnya pada *cylinder head* dengan alat pendorong hingga pada posisi yang tepat.

Penghantar katup yang dapat dilepas juga dapat diperbaiki dengan cara *kmurling* atau menggunakan *bushing* pelat tipis, namun yang menjadi masalah umum adalah terjadi keretakan.
Celah antara batang katup terhadap penghantarnya yang tidak cukup akan mengakibatkan pelumasan yang kurang, hal ini dapat merusak batang katup.

Celah yang terlalu besar antara batang katup dengan penghantarnya akan menyebabkan oli bocor melewati katup dan masuk ke ruang bakar maka akan mengakibatkan asap, timbunan karbon pada katup, ruang bakar dan kepala *piston*.
Apabila celah antara penghantar dengan batang katup melebihi toleransi/ spesifikasi maka seal katup tidak dapat mengontrol oli yang mengalirinya.

Gambar 3.143. *Cylinder head* dan kelengkapannya

Cylinder head juga dirancang dengan struktur yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi. *Cylinder head* lolos pengujian *deep thermal cycle shock* yang teliti untuk memastikan daya tahannya. Sehingga dihasil kan *cylinder head* yang memiliki ketahanan terhadap timbulnya retak.

Spacer plate yang terbuat dari *aluminium* atau baja digunakan diantara *cylinder head* dan *block* untuk mengurangi kedalaman *counterbore* pada *cylinder block*.

Counterbore yang dalam akan menurunkan integritas struktur pada *block* dan mudah retak. Pada model lama, *counter bore* ini diperlukan untuk menyesuaikan dan menyangga *flange* pada *liner*.
Cylinder head assembly (Gambar 3.143) terdiri dri:

- *Cylinder head*
- *Valve cover*
- *Bridge*
- *Valve spring assembly*
- *Valve guide*
- *Valve seat insert*
- *Valve*
- *Rocker arm*

- Cylinder Head

  Cylinder head (Gambar 3.144, kiri) merupakan cor-an yang terpisah yang menyekat bagian atas *engine block* dimana terdapat *valve*, *injector* atau *pre-combustion chamber* (bila digunakan), juga saluran air, *valve train* dan komponen sistem bahan bakar.

Gambar 3.144. Kepala silinder

Tergantung rancangannya, *cylinder head* dapat berupa *single casting* (cor-an tunggal), ataupun terdiri dari beberapa cor-an yang menutup satu *cylinder* atau lebih.
Diantara, *cylinder head* (1) (Gambar 3.144, kanan) dan *engine block* terpasang *gasket* (2), *spacer plate* (3).

- *Valve Cover*

Gambar 3.145. Tutup katup

Valve cover terpasang pada *valve cover base* yang diikat pada bagian atas *cylinder head*. Beberapa *engine* mempunyai lebih dari satu *cover*. Komponen *valve train* terdapat di bawah *valve cover*.

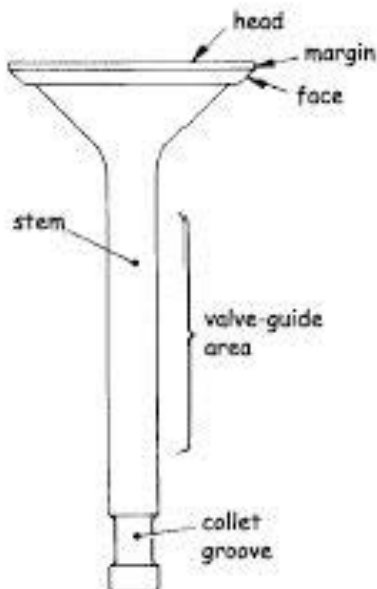
Katup-Katup

Fungsi katup masuk adalah untuk mengalirkan campuran udara dan bahan bakar masuk ke ruang bakar. Setelah terjadi pembakaran, maka asap dari pembakaran akan keluar dari ruang bakar melalui katup buang.

Katup-katup ini harus dapat sebagai penutup agar tidak terjadi kebocoran gas pada saat langkah kompresi dan langkah usaha. Secara umum engine 4 langkah mempunyai 2 katup untuk setiap silinder, namun perkembangannya ada juga beberapa *engine* yang mempunyai 4 atau 5 katup untuk setiap silinder.

Bahan Katup

Katup Poppet

Gambar 3.146, memperlihatkan tipe katup poppet. Poppet katup mempunyai dua bagian yaitu kepala dan batang.

Gambar 3.146. Tipe katup poppet

Katup Masuk

Katup masuk kebanyakan terbuat dari paduan *nickel*. Bahan ini digunakan agar katup dapat menghantarkan panas dengan nilai pemuaian yang rendah, tahan terhadap keausan dan baik terhadap benturan.

Bahan untuk katup masuk di buat berbeda dari katup buang sebab katup buang lebih terterpa dengan panas yang lebih besar.
Diameter katup masuk dapat berbeda dari diameter katup buang.

Katup Buang

Katup buang kebanyakan terbuat dari bahan paduan Chrome silicon (8%, chromium dan 3% silicon). Kwalitas katup yang tinggi juga harus dipenuhi. Katup-katup ini terbuat dari baja yang mengndung silicon dan nickel tambah chromium yang mencapai di atas 20%. Katup ini dapat diidentifikasi dengan magnit, dimana katup ini tidak aktif terhadap magnit.

Katup yang di isi dengan sodium

Katup sodium digunakan beberapa perusahaan untuk meningkatkan menghilangnya panas dari kepela katup. Batang katup di buat berlobang dan bagian ini diisi dengan sodium. Saat *cylinder head* menerima panas yang meningkat maka panas akan dialirkan ke batang katup. Panas dialirkan ke sodium yang meleleh kira-kira 90°C dan secara mendatar akan menyeburkan panas pada bagian yang lebih luas pada batang katup, selanjutnya panas mengalir ke penghantar katup untuk diserap oleh air pendingin.
Katup yang diisi dengan sodium dapat diidentifikasi dari ukuran batang katupnya. Batang katup sodium akan lebih lebar dari katup konvensional. Sodium secara substansi mudah menguap/berubah-ubah, msks harus dijaga untuk terhindar dari kecelakaan/kerusakan, contoh: Tidak boleh membersihkan katup sodium dengan sikat kawat. Menghindari jatuh atau kenaikan temperatur secara mendadak.

Permukaan kepala katup dibentuk dengan sudut 44-46 derajaat atau 29-31 derajat. Apabila permukaan katup berhubungan dengan dudukan katup maka akan tersekat tanpa kebocoran dari tekanan pembakaran. Bagian luar dari permukaan katup adalah *margin*, dan untuk menentukan pemakaian katup adalah juga ditentukan besarnya *margin*.

Spesifikasi margin tidak kurang dari 1,5 mm ini adalah spesifikasi secara umum digunakan pada Industri Otomotif. Apabila sisi margin sudah terlalu tipis/tajam maka dengan mendapatkan tekanan dan temperatur dapat berakibat kerusakan katup.
Kepala katup dapat berbentuk datar ataupun cekung, namun tidaklah umum ditemukan Kepala Katup buang berbentuk cekung.
Batang katup dan kepala katup harus dalam koncentris terhadap dudukan katup agar tidak terjadi kebocoran, dan tidak menimbulkan suara yang berisik.
Sebelum melakukan perbaikan pada katup, maka terlebih dahulu katup dibersihkan dan dinilai. Katup tidak dapat lagi dipakai apabila :

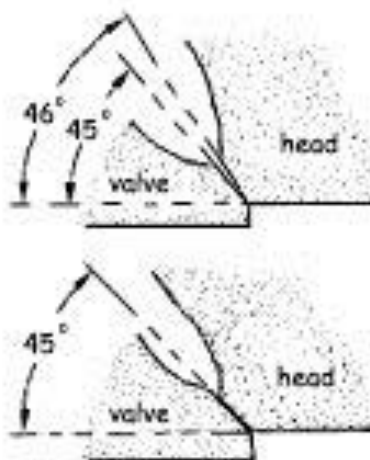
- Keausan batang katup sudah melebihi spesifikasi pabrik
- Ketebalan margin sudah melebihi spesifikasi pabrik

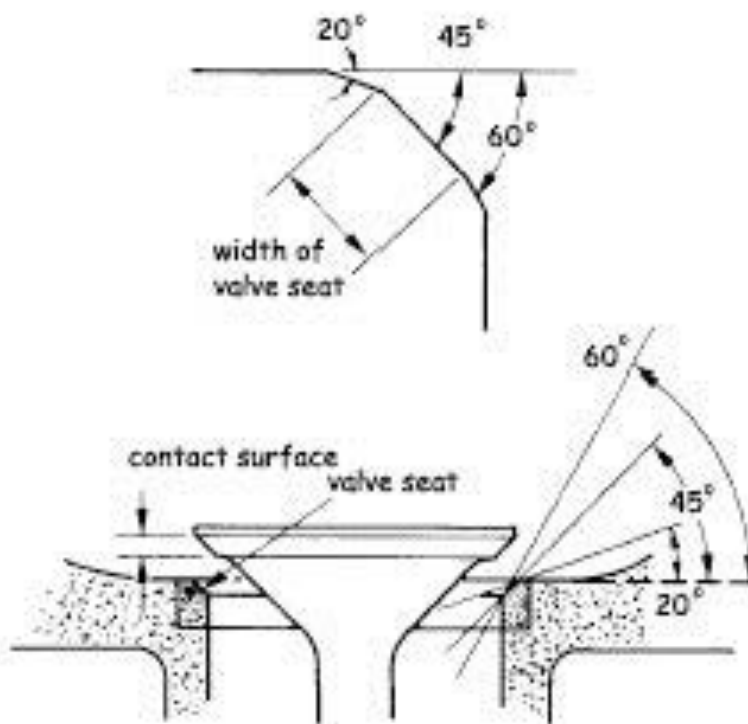
- Keausan pada alur pengunci ataukejung batang katup yang rusak
- Permukaan katup yang terbakar atau retak
- Batang katup bengkok
- Katup korosi ataupun erosi
- Panjang katup tidak sesuai

Katup dan sudut dudukan

Terdapat dua sudut yang digunakan yaitu 30 dan 45 derajat. Sudut 30 derajat kebanyakan digunakan Negara England dan Eropah, sementara sudut 45 derjat kebanyakan digunakan Negara Amerika dan Jepang.

Beberapa perusahaan mengatakan sudut 45 derajat sangat baik untuk mencegah kebocoran dan ujung lainnya mengatakan sudut 30 derajat sangat baik untuk eficiensy volumetric. Perpaduan sudut 30 derajat bentuk katup masuk dan sudut 45 derajat untuk katup buang juga digunakan beberapa pabrik.

Industri otomotif saat ini, sedang berkembang mendesaign Interferen sudut dudukan katup. Sudut permukaan katup dibuat 0,5-1 derajat lebih kecil dari sudut dudukan katup. Lihat Gambar 3.147, keuntungan dari Interferen sudut katup adalah dudukan katup akan kontak pada bagian tertentu pada saat engine dingin, tetapi akan kontak secara keseluruhan apabila engine sudah beroperasi pada Temperatur Kerja. Hal ini diakibatkan dari massa logam kepala katup dan batang kautp, saat temperatur katup naik, maka kepala katup secara perlahan menjadi mendatar.

Gambar 3.147. Sudut Dudukan dan Permukaan Katup

Lihat Gambar 3.148, yang memperlihatkan tipe katup dan susunan dudukannya dan identifikasi beberapa sudut katup.

Gambar 3.148. Tipe dan Sudut Katup

Menggerinda Katup

Katup digerinda dengan mesin gerinda khusus. Mesin gerinda khusus untuk katup dapat anda lihat pada Gambar 3.149 dan 3.150, yang dapat diandalkan akurasionya dalam membentuk sudut katup sesuai dengan yang diinginkan.

Gambar 3.149. Mesin Gerinda Katup

Gambar 3.150. Membentuk Sudut Katup

Mesin gerinda katup memiliki kepala putar yang dapat disetel pada sudut yang dikehendaki, pada kepala putar juga dapat dicengram batang katup untuk ikut berputar berlawanan dengan roda gerinda.

Sebelum mengerinda permukaan katup, maka terlebih dahulu melakukan pemeriksaan mesin gerinda terhadap :

- Kebebasan pengontrol operasi
- Batu gerinda telah di bentuk
- Kepala putar sudah ditempatkan pada sudut yang diinginkan
- Tip katup sudah kondisi baik untuk menjamin pemegangan pada kepala putar
- Pemberian pendingin selama menggerinda sudah dipersiapkan

Permukaan katup dibentuk setelah seluruh kotoran dipermukaan sudah dibersihkan : dan setelah permukaan katup selesai dibentuk maka margin katup harus diukur kembali, apabila setelah selesai pembentukan permukaan katup ternyata tebal margin sudah diluar spesifikasi pabrik, maka katup harus diganti.

Dudukan Katup

Dudukan katup mempunyai 2 tujuan yaitu:

- Menutup ruang silinder agar tidak terjadi kebocoran gas, saat katup masuk dan katup buang menutup.
- Sebagai perantara penyaluran panas dari permukaan katup ke system pendinginan.

Hal ini menyebabkan lebar dudukan katup menjadi suatu yang penting dan bersinggungan secara penuh dengan katup, dan kira-kira 75% panas katup terserap oleh dudukan katup yang selanjutnya di alirkan ke system pendinginan.

Tipe dan Bahan Dudukan Katup

Terdapat 2 tip dudukan katup:
Dudukan katup *Integral*
Dudukan katup Integral di mana dudukan kaup di cetak bersama-sama dengan *cylinder head*. Pada bagian dudukan katup normalnya diperkeras dengan proses *treatmen* panas atau pengerasan induksi, seperti di ketahui bahwa cetakan besi tuang kelabu pada formula standar tidaklah cukup tahan pada pemakaian yang lebih lama.
Dudukan katup *Integral* mempunyai kemampuan menghantar panas dengan baik, sehingga umur pemakaian atau jangka waktu servis katup menjadi lebih meningkat.
Setelah dudukan katup integral rusak dan tidak mungkin lagi di reparasi, maka dudukan katup sisipan dapat digunakan dalam perbaikannya pada *cylinder head*.
Dudukan Katup Sisipan

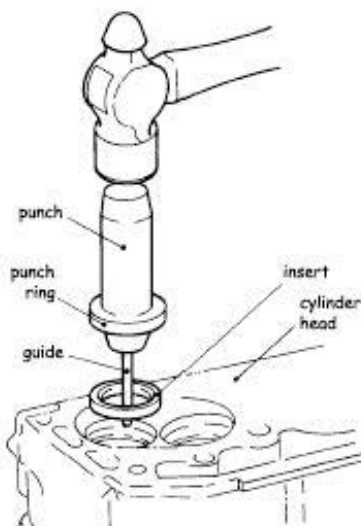
Dudukan katup sisipan umumnya terbuat dari baja atau *stellite* yang diperkeras. *Cylinder head* yang terbuat dari bahan aluminium tidak cukup kuat menerima kerja tumbukan katup.

Dudukan katup sisipan juga mengikuti perusahaan untuk menggunakan dudukan katup sisipan yang terbuat dari bahan lainnya untuk menyesuaikan kepala operasional engine misalnya : Bahan Bakar LPG dan Bahan bakar tampa timbel.

Satu kerugian dudukan katup sisipan adalah kemampuan menghantarkan panas, hal ini seperti dudukan katup yang disisipkan terhadap *cylinder head* dengan adanya Interferen maka penyaluran panasnya tidaklah sebrik dudukan katup *Integral*.

Melepas dudukan katup sisipan dapat dilakukan dengan satu atau dua cara yaitu: Pertama menempatkan *cylinder head* pada alat pemotong dudukan katup contohnya: Serdi dan mesin pelepas dudukan katup dari kepela silinder. Kedua memberi panas disekeliling dudukan katup yang menyebabkan terjadi penyusutan dudukan sisipan sehingga dapat dilepas.

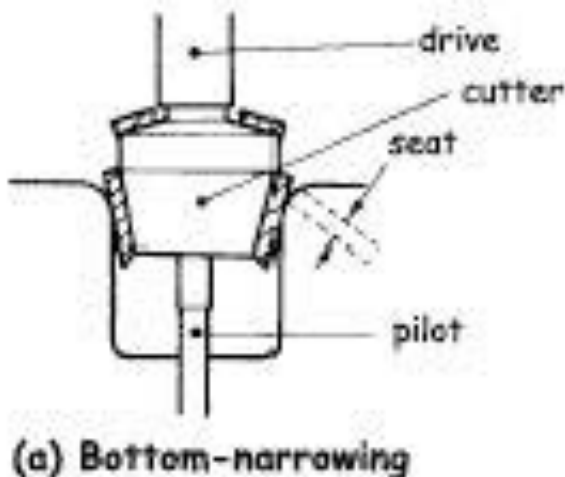
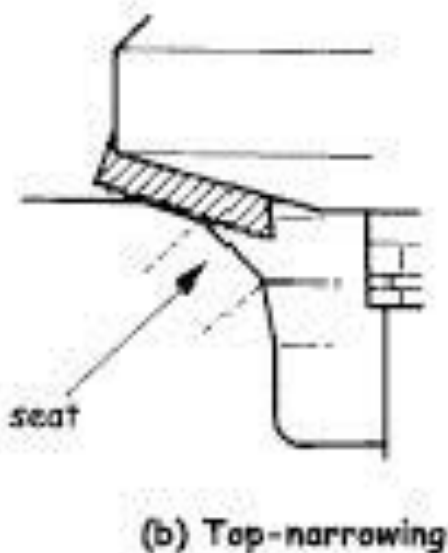
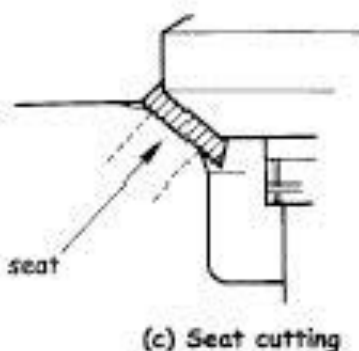
Walaupun dudukan katup sisipan terpasang pada *cylinder head* dengan *Interferen*, namun teknik pemasangan untuk *cylinder head* dengan bahan aluminium dan besi tuang kelabu adalah berbeda.

Apabila akan memasang dudukan katup sisipan *cylinder head* yang terbuat dari aluminium, maka *cylinder head* harus dipanaskan antara 200^{o}C-300^{o}C saat dudukan sisipan dipasang dan didinginkan selama 20 menit – 30 menit. Apabila *cylinder head* dalam kondisi panas dan dudukan katup sisipan dalam kondisi dingin, maka pekerjaan harus dilakukan dengan cepat dan kemudian biarkan sampai dingin secara alami.

Gambar 3.151. Memasang dudukan katup

Memasang dudukan katup sisipan perlu *cylinder head* yang terbuat dari baha besi tuang kelabu, maka dudukan katup sisipan dalam kondisi dingin, dan sangat penting tidak boleh memberi pelumas pada dudukan sebelum dipasang karena pelumas akan menghambat penyaluran panas dari dudukan ke sistem pendingin.

Memotong Dudukan Katup

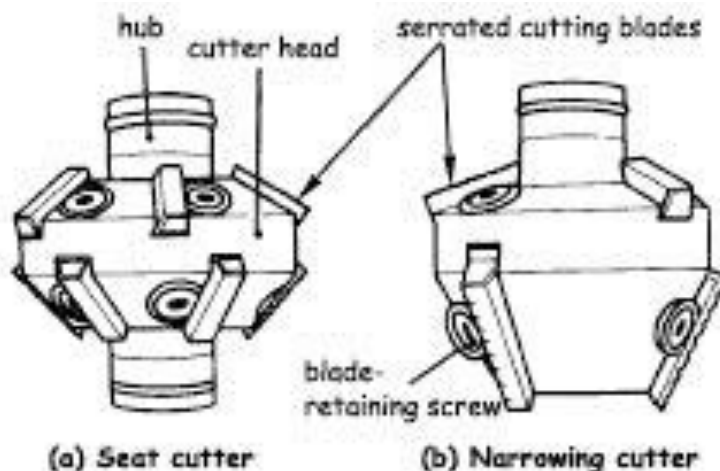
Apabila memotong dudukan katup, maka potonglah dudukan dengan mesin potong hingga tidak terdapat coakan atau alur. Setelah dudukan dipotong berilah tanda biru pada permukaan katup dan tempatkanlah katup pada penghantarnya hingga permukaan katup dan tempatkanlah katup pada penghantarnya hingga pearmukaan katup berhubungan dengan dudukan. Selanjutnya secara hati-hati lepaskanlah katup dan perhaitkan/pelajari kondisi kontak antara permukaan katup dengan dudukan katup. Setelah hubungan katup diperiksa, posisi dudukan pada katup dapat distel dengan throating atau crowing dudukan katup.

Pada umumnya dudukan katup digerinda dengan 3 sudut. Dudukan 45 derajat biasanya *crowned* (bagian atas dudukan katup diturunkan) ke 30 derajat dan biasanya throated (Bagian bawah dudukan katup dinaikkan) ke 70 derajat.

Gambar 3.152. Bagian bawah

Gambar 3.153. Bagian atas

Gambar 3.154. Memotong Dudukan

Apabila menentukan posisi dudukan, maka lebar dari dudukan katup harus menjadi perhatian. Sesuaikan dengan spesifikasi manual bengkel, atau jika tidak ada maka secara umum yang diijinkan adalah 1.5 mm.

Lebar dudukan adalah ketentuan yang sangat penting, apabila dudukan terlalu kecil, dapat mengakibatkan permukaan katup berlebihan panas *(overheat),* dimana kontak terhadap dudukannya sudah menjadi berkurang. Katup yang panasnya berlebihan akan menyebabkan katup lebih cepat rusak.

Lebar dudukan katup yang terlalu lebar dapat menyebabkan penimbunan karbon atau kotoran diantara katup dan dudukannya. Hal ini akan mengurangi penyaluran panas dari kepala katup ke dudukan yang dapat merusak katup.

Posisi dudukan sangat penting, jika dudukan terlalu dekat ke margin katup, maka bagian luar katup dapat berlebihan panas *(overheat)* dan menyebabkan katup rusak. Kontak dudukan secara umu di tengah sepertiga kebar memotong/membentuk dudukan katup harus menggunakan peralatan khusus.
Pada pekerjaan reklamasi *engine* menggunakan alat seperti serdi atau peralatan besar lainnya. Walaupun secara umum kebanyakan bengkel menggunakan peralatan kecil, lebih sederhana dan tepat.
Ada 2 sistem yang umum digunakan yaitu *Neway cutters* atau *synchro seating kit.*
Neway cutters terdiri dari kepala dalam beberapa seri dengan pemotong di tempatkan pada slot dan dipegang sekrup. Pemotong ini dapat disesuaikan pada ukuran dudukan katup yang berbeda-beda. Kepala alat ini dibuat dalam tiga sudut dan empat atau lima ukuran.
Pada dasarnya alat disesiakan dalam beberapa ukuran dan di lengkapi dengan *handle "T"* untuk memutarkan alat. Lihat Gambar 3.156.

Gambar 3.156. Pemotong dudukan

Apabila memotong dudukan katup adalah sangat penting memilih batang pelurus yang tepat, untuk menyakinkan antara penghantar dan dudukan katup pada posisi yang tepat.

Metoda

- Memiliki batang pelurus secara hati-hati, bersihkan penghantar dan masukan batang pelurus
- Tempatkan pemotong pada batang pelurus
- Memberikan tekanan ringan ke pemotong dan memutarnya searah jarum jam
- Setelah dudukan selesai dibersihkan, periksalah posisi dudukan pada katup.

- *Crown* dan *Throat* dudukan untuk mendapatkan posisi dudukan yang dipersiapkan
- Memotong sudut dudukan secara perlahan dan periksalah posisi dudukan dan kontaknya
- Setelah semua selesai dikerjakan dengan tepat, maka bersihkanlah *cylinder head* dan lakukan pengujian kebocoran

Synchro Seating

Apabila menggunakan Synchro Seating kit, metoda penggunaannya sama dengan metoda yang digunakan di atas. Perbedaan prakteknya adalah memotong dudukan dengan batu gerinda bukan dengan pisau baja. Lihat Gambar 3.157.

Gambar 3.157. *Synchro seating*

Dengan menggunakan pemotong ujung berlian maka sudut batu gerinda pembentuk dudukan dapat di buat, dan juga agar permukaan batu gerinda selalu dalam kondidi baik. Ujung berlian pemotong dapat digeser-geser sesuai keinginan dan ukuran batu gerinda selalu lebih besar dari ukuran yang diinginkan.

Pegas Katup

Pegas katup digunakan menutup katup. Pegas katup juga menjaga kestabilan kerja katup dan membuat lifter selalu kontak secara tepat dengan *camshaft.*

Pegas katup adalah tipe pegas helik di mana kadang-kadang dipasang bersama-sama pegas lainnya (pegas rangkap dua). Pegas rangkap dua digunakan untuk menghindari penggunaan pegas yang besar dan mengakibatkan kerusakan.

Beberapa pegas katup mempunyai lingkar lilitan lebih rapat pada salah satu ujungnya. Pegas ini dibuat untuk mengurangi sentakan sehingga pegas dapat bekerja dengan potensial penuh. Pemasangan pegas ini adalah bagian lingkar lilitan yang lebih rapat pada bagian cylinder head (dibagian bawah).

Pengujian

Pegas katup perlu diuji pakah masih beroperasi dengan baik. Tegangan pegas adalah pemeriksaan yang penting di mana di butuhkan pada *cylinder head* yang direklamasi *(Re conditioning).*

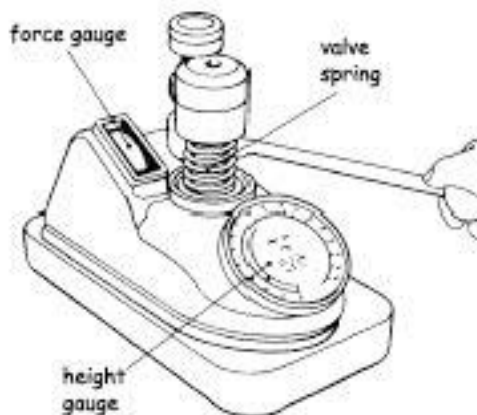
Pada sebagian besar motor balap, pegas katupnya selelu diperiksa pada *engine* balap setelah selesai balap atau selama kegiatan balap.

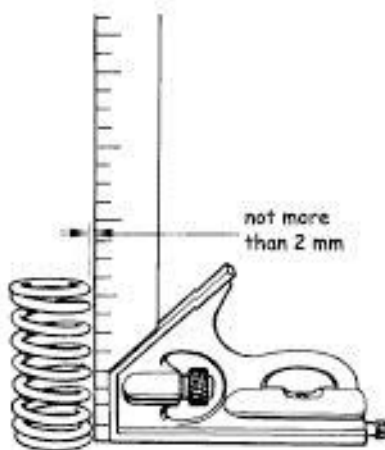
Apabila pegas katup sudah lemah dibandingkan ke spesifikasi dapat menghasilkan sentakan katup atau katup menjadi rusak. Apabila pegas katup terlalu kuat akan merusak *camshaft.*

Pengujian pegas katup meliputi :

- panjang bebas
- Tekanan kerja
- Kesikuan

Spesifikasi dapat ditentukan pada buku m annual pabrik. Baca dengan teliti buku manual dimana beberapa pabrik memberi dua spesifikasi beban kerja pegas katup. Tinggi pegas terpasang atau tinggi pegas terendah.

- Bilamana memeriksa tinggi bebas pegas katup adalah menggunakan jangka sorong. Catat tinggi bebsa seluruh pegas katup dan perbandingan dengan spesifikasi pada buku manual pabrik untuk menentukan Servis
- Untuk mengukur tekanan kerja pegas katup adalah dengan menggunakan *valve spring tester*. Tekanan pegas dapat di periksa dengan memberi tekanan apda alat valve spring tester (Gambar 3.158).

Gambar 3.158. Mengukur tekanan pegas katup

- Kesikuan pegas katup juga harus diperiksa. Untuk mengukur kesikuan pegas katup ditempatkan di atas meja perata, dan alat siku di tempatkan sekitar sisi pegas katup. Ketidak sikuan di tempatkan sekitar sisi pegas katup. Ketidak sikuan pegas katup tidak boleh melebihi 2 mm. Lihat Gambar 3.159.

Gambar 3.159. Mengukur kesikuan pegas katup

Apabila pegas katup sudah rusak sesuai pemeriksaan di atas maka pegas katup harus diganti (beberapa pegas katup ada yang ditambah *shim* untuk mendapatkan tekanan yang diinginkan.

Memasang Kembali Cylinder Head

Setelah selesai diperiksa, direklamasi atau melepas komponen cylinder head, selanjutnya anda hanya tinggal memasang kembali.
Sebelum memasang *cylinder head*, terdapat hanya dia pengukuran yang diperlukan, tinggi katup terpasang dan tinggi tempat pegas katup terpasang.
Ketinggian batang katup terpasang adalah pengukuran yang penting, sehubungan dengan dampak kerja *rocker arm.*
Untuk mengukur tinggi terpasang dapat menggunakan jangka sorong atau *micrometer* kedalaman. Sesuaikan dengan spesifikasi pada buku manual bengkel.
Tinggi tempat pegas terpasang di ukur dengan jangka sorong. Untuk mengukur hal ini, pasang katup pada dudukan dan penghantarnya. Pasang retainer dan *collet* katup tumpu pegas terpasang, ukurlah jarak antara dudukan pegas pada *cylinder head* hingga pada dasar retainer. Perbandingkan hasil ukuran dengan spesifikasi pada buku manual bengkel.
Apabila tinggi tempat terpasangnya pegas terlalu besar, maka dapat ditambah *shim* untuk mendapatkan ketinggian yang tepat.
Setelah selesai pemeriksaan ketinggi seperti di uraikan di atas, maka *cylinder head* telah siap untuk dipasang. Langkah pemasangan

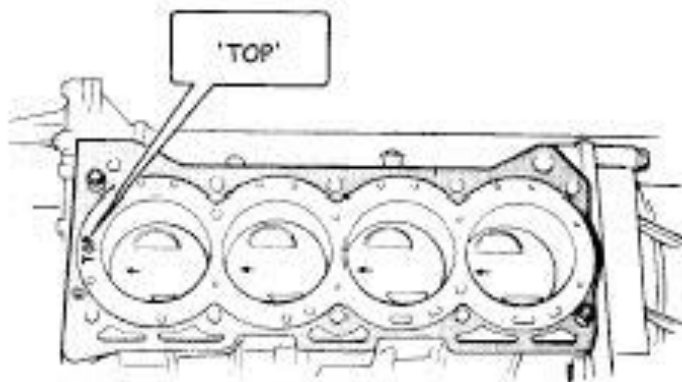
kembali *cylinder head* pada umumnya adalah kebalikan dari langkah melepas.
Mengikuti prosedur/ketentuan spesifik yang terdapat pada buku manual bengkel.
Langkah-langkah yang perlu diingat.

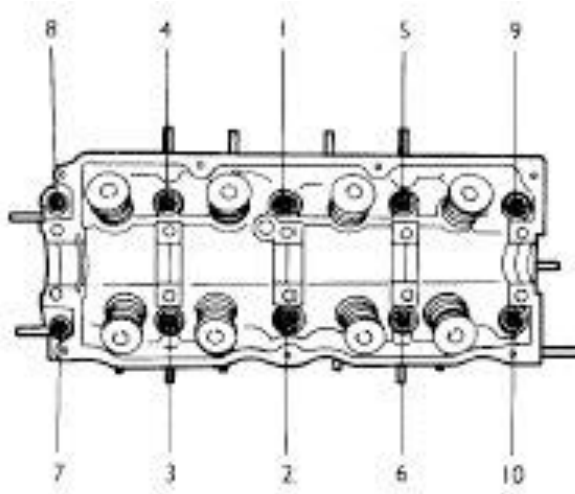
- *Cylinder head* membutuhkan pembersihan. Setelah *cylinder head* selesai direklamasi, maka serbuk-serbuk besi atau kotoran lainnya sulit di lihat pada bidang-bifang tersebut. Kotoran-kotoran ini dapat merusak kerja komponen
- Memberi pelumasan pada semua komponen selama melakukan pemasangan kembali
- Memakai oli seal katup yang baru
- Setelah komponen *cylinder head* selesai dipasang kembali, maka pukullah secara perlahan dengan palu lunak, bagian atas pegas katup untuk menyakinkan bahwa katup dan kelengkapannya telah terpasang dengan benar
- Menguji kebocoran katup

Memasang *Cylinder Head*

- Sebelum memsang *cylinder head*, terlebih dahulu yakinkan permukaan blok silinder sudah bersih dan bekas gasket. Lubang tempat pemasangan baut *cylinder head* juga harus bersih dari kotoran ataupun cairan dan kepala *piston* juga dalam kondisi bersih.

- Untuk *engine* tipe OHC, piston no. 1 harus dalam posisi Titik Mati Atas TMA) untuk menghindari kerusakan katup

- Apabila memasang *cylinder head*, maka selalu menggunakan gasket baru. Perhatikan bahwa gasket terpasang dengan benar. Lihat Gambar 3.160.

Gambar 3.160. Memasang gasket

- Dengan hati-hati tempatkanlah *cylinder head* di atas gasket yang telah ditempatkan di atas permukaan blok silinder
- Lumasi dan pasanglah *camshaft.* Tepatkan tanda timing, pasang roda gigi dan kencangkanlah baut *cylinder head* sesuai dengan spesifikasi pabrik. Mulailah pengencangan baut *cylinder head* dari bagian tengah dengan cara melingkar kearah luar. Lihat Gambar 3.161.

Gambar 3.161. Formasi pengencangan baut cylinder head

- Pasang sabuk/rantai timing dan pemegangnya
- Menyetel katup-katup
- Memasang kembali tutup rocker arms
- Memasang *manifold*, sistem bahan bakar, kelistirkan dan komponen sistem pendinginan

Setelah selesai pemasangan *cylinder head* dan kelengkapan lainnya maka isilah sistem pendinginan dengan air pendingin. Mengisi oli pelumas *engine* dan hidupkan *engine*.

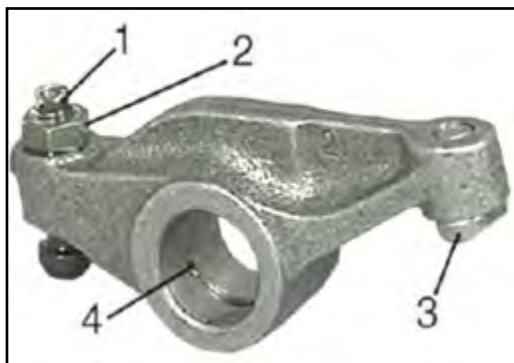
(Periksa kebebasan kipas dan suara-suara lain sebelum menghidupkan *engine*).

Hidupkan *engine* hingga mencapai temperatur kerja. Memonitor *engine* dengan baik untuk meyakinkan thermostat bekerja dengan benar.

Memeriksa tekanan oli pelumas *engine* dan kebocoran air pada sistem pendinginan.

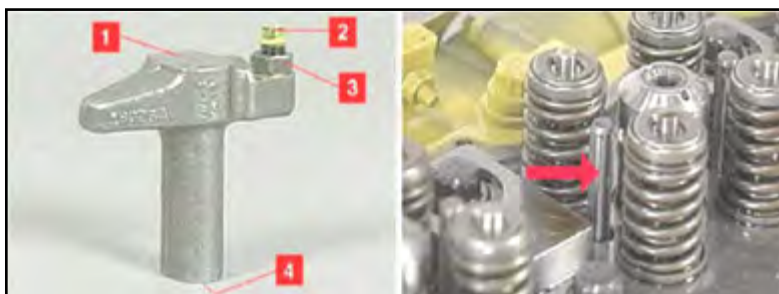
Matikan *engine* hingga kondisi dingin dan periksa kembali kekerasan baut *cylinder head* apabila diperlukan. Periksa klem-klem slang dan kencangkan kembali baut pengikat *manifold.*

Hidupkan kembali *engine* dan setelah panas, lakukan penyetelan kembali celah katup.

Rocker Arm

Gambar 3.162. *Rocker arm*

Rocker arm (Gambar 3.162) terdiri dari:

1. *Screw* penyetel (*adjusting screw*) untuk menyetel *valve lash*, yaitu celah antara *rocker arm* dan *valve bridge* untuk memastikan *valve* dapat menutup dengan sempurna. Penyetelan ini merupakan salah satu penyetelan yang paling kritis pada *valve train*.
2. *Lock nut*, untuk mengunci *screw* pada posisinya setelah penyetelan dilakukan
3. *Wear seat*, *insert* yang dikeraskan agar tahan lama
4. *Rocker shaft bushing* yang berfungsi sebagai bantalan antara *rocker arm* dan *shaft*.

Komponen-komponen tersebut menghubungkan *camshaft* atau *valve train* dengan *valve* dan mengubah gerakan putar *camshaft* menjadi gerakan naik-turun pada *valve*. Saat *rocker arm* terdorong keatas pada satu ujung, ujung lainnya akan terdorong kebawah, mendorong dan membuka *valve*.

Gambar 3.163. Penyanggah *rocker arm*

Bridge (Gambar 3.163, kiri) terdiri atas:

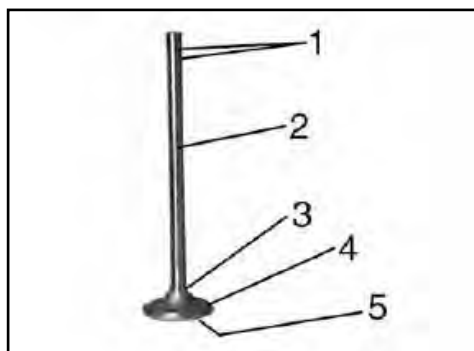
1. *Wear seat*, daerah dimana *rocker arm* menekan *bridge*

2. *Bridge adjusting screw* (*screw* untuk menyetel *bridge*) sebagai kompensasi untuk perbedaan ketinggian *valve stem*
3. *Lock nut* untuk mengeset *bridge adjusting screw*
4. *Bore* sebagai tempat *guide pin* atau *bridge dowel* (Gambar 3.163,kanan) yang terpasang pada *cylinder head*.

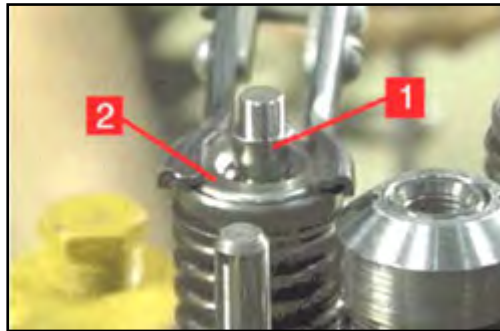
Valve

Pada setiap *valve* (Gambar 3.164) terdapat:

1. *Keeper groove* (alur *keeper*), dimana *keeper* (kadang disebut *collet*) menahan *valve stem* dan *spring*
2. *Valve stem*, yang bergerak pada *valve guide*
3. *Valve fillet*, menghubungkan *head* pada *stem*
4. *Valve sealing face* yang mempunyai permukaan yang dikeraskan untuk mengurangi keausan dan menyekat ruang bakar.
5. *Valve head*

Valve (Gambar 3.164) mengatur aliran udara dan gas buang dari ruang pembakaran. Saat *intake valve* membuka, udara memasuki ruang bakar dan saat *exhaust valve* membuka, gas buang keluar dari ruang bakar.

Gambar 3.164. Katup dan bagian-bagiannya

Exhaust dan *intake valve* pada kebanyakan *engine diesel* dibuat dari material anti aus agar tahan lama. Ada tiga material yang digunakan pada *exhaust valve*. *Stem* dibuat dari *stainless steel* yang dikeraskan. Campuran logam khusus digunakan untuk *head* agar tahan terhadap suhu tinggi dan *sealing face* terbuat dari *hard facing alloy* (campuran yang permukaannya dikeraskan). *Head* dan *stem* pada *intake valve* dibuat dari *stainless steel* dan dikeraskan agar tahan terhadap keausan.

Valve Spring Assembly

Gambar 3.165. Rangkaian pegas katup

Valve spring (Gambar 3.165) mempertahankan *valve* agar tertutup kembali. Komponen ini terpasang diatas *valve* dan ditahan oleh *keeper* (atau *collet*) (1) dan *retainer* (2) atau *rotator*. *Valve spring* dipasang diatas *valve stem*. *Retainer* atau *rotator* mengunci *keeper* pada *valve groove* dan sebagai dudukan untuk *valve spring* agar menekan dan menutup *valve*.

Gambar 3.166. *Rotator*

Setiap *valve* memiliki *rotator* (Gambar 3.166), yang akan memutar *valve* sekitar 3^{o} relative terhadap *valve seat insert* setiap kali *valve* bekerja. Hal ini untuk memastikan agar keausan merata dan usia pakai *valve* menjadi lebih lama dan membantu mencegah terbakarnya *valve*.

Pegas-pegas katup harus diperiksa terhadap adanya gangguan yang terlihat dengan kasat mata misalnya, korosi, dan lain-lain. Tidak boleh terdapat keausan sisi pegas secara berlebihan dan harus memenuhi spesifikasi. Selanjutnya pengecekan kondisi pegas katup meliputi:

- *Spring squareness* yaitu kesikuan pegas katup. Kesikuan pegas katup yang tidak *square* akan mengakibatkan terjadinya tekanan pada salah satu sisi batang katup dan mempercepat keausan pengarah katup dan batang katup.
- Periksa pegas katup dengan *tester* pegas. Pegas harus bisa ditekan hingga ketinggian tertentu dan diperiksa terhadap tabel spesifikasi mengenai torsi. Pegas harus diganti jika tidak memenuhi batasan 13,55 Newton meter (10 ft lbs) dari beban spesifik (lihat manual).
  - *Valve Seat Insert*

Gambar 3.167. Dudukan katup sisipan

Agar didapatkan penyekatan ruang bakar yang sempurna, pada setiap *valve* memiliki *seat insert* (Gambar 3.167), yang terletak pada *cylinder head*. Saat tertutup, *valve head* bersentuhan dengan *valve seat insert*.
Valve seat insert dapat diganti bila aus atau rusak. *Seat insert* untuk *intake* terbuat dari campuran *stainless steel* dan *seat insert* untuk *exhaust* terbuat dari campuran dengan bahan dasar nikel.

- *Valve Guide*

Gambar 3.168. Penghantar katup

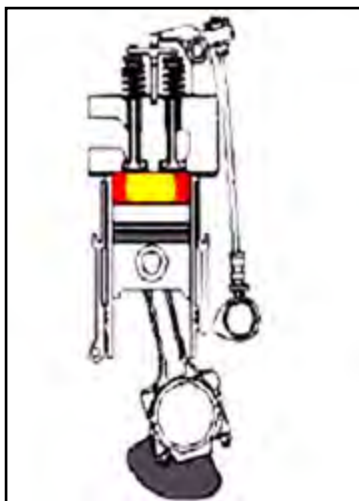
Valve bergerak naik dan turun di dalam *valve guide* (Gambar 3.168) yang berada didalam *cylinder head*. *Valve guide* menjaga pergerakan *valve* tetap lurus dan membantu

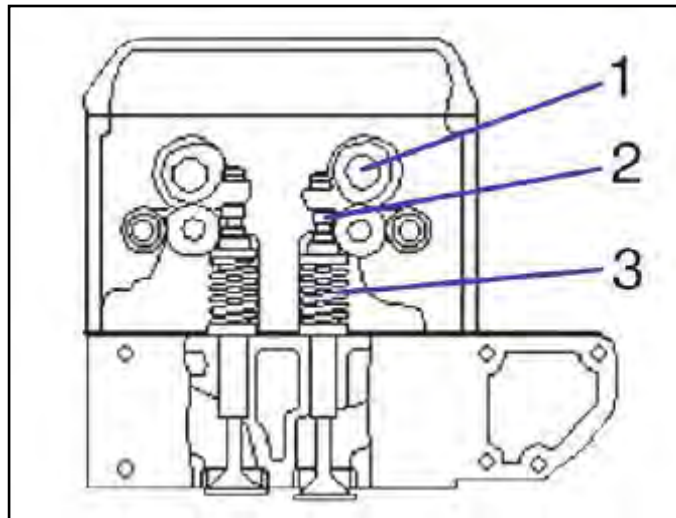
menyerap panas dari *valve*. *Valve stem* memanjang keluar dari *guide* di bagian atas *cylinder head*.

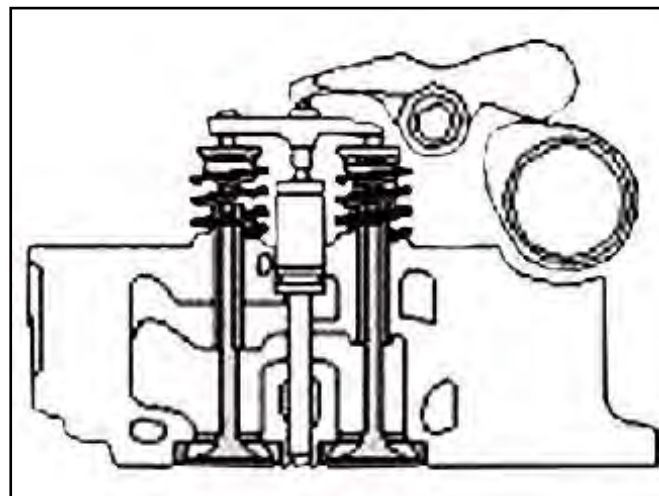
Valve, *valve seat insert* dan *valve guide* mengalami keausan paling banyak karena suhu dan tekanan pembakaran yang tinggi. Semua komponen ini dapat diganti.

Rancangan *Valve Train*

Model *engine* yang berbeda memiliki rancangan *valve train* yang berbeda pula.

- *Push rod engine* (Gambar 3.169), menggunakan *camshaft*, *valve lift*er, *push rod* dan *rocker arm*

Gambar 3.169. Jenis *over head valve*

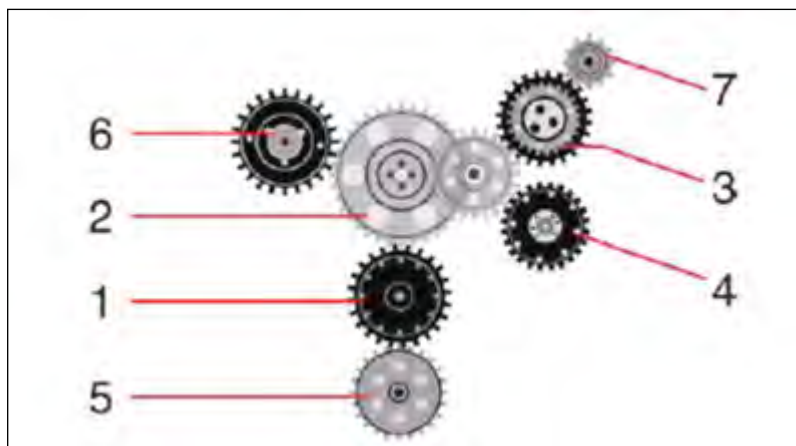
- *Overhead cam engine* (Gambar 3.170) memiliki *camshaft* (1) pada *cylinder head*. *Valve lift*er (2) dihubungkan langsung dengan bagian atas *valve stem*. Pada saat *cam lobe* berputar, *lifter* mengikuti gerakan dan membuka *valve*. Saat *cam* terus bergerak, *valve spring* (3) akan menutup *valve*.

Gambar 3.170. Jenis *over head cam shaft*

- *Cam in head engine* (Gambar 3.171), dimana *rocker arm* bergerak pada *lobe*. Bila *camshaft* berputar, *rocker* menekan dan membuka *valve.*

Gambar 3.171. Bubungan langsung pada *rocker arm*

Fuel Injection Nozzle

Gambar 3.172. Injektor nozel

Fuel nozzle atau *injector* (Gambar 3.172, kiri) juga terletak pada *head* di antara *valve* (Gambar 3.172, kanan). Komponen ini ditahan pada tempat-nya menggunakan *sleeve*, *washer*, *adapter* dan *retainer*. *Injection nozzle* dapat diganti di lapangan. Ke-enam lubang pada ujung *nozzle* akan meng-kabutkan bahan bakar bertekanan tinggi ada ruang bakar agar didapatkan pembakaran yang sempurna dan effisien.

Gear Train Assembly

Gambar 3.173. Susunan gigi *timing*

Gear train (Gambar 3.173) dapat terdiri atas:

1. *Crankshaft gear*
2. *Idler gear*
3. *Camshaft gear*
4. *Fuel injection pump gear*

5. *Oil pump gear*
6. *Water pump gear*
7. *Air compressor gear*

Gambar 3.174. Susunan terpasang gigi *timing*

Gear train assembly (Gambar 3.174) merupakan serangkaian *gear* yang memindahkan tenaga dari *crankshaft* menuju komponen utama *engine* lainnya.
Gear train dapat terletak di bagian depan ataupun belakang *engine*.
Gear train yang ditunjukkan pada gambar diatas terletak dibagian depan *engine* diantara *backing plate* dan *timing gear housing*.

Gear train berfungsi menyamakan semua komponen yang berhubungan dengan pembakaran pada *engine* (*crankshaft*, *camshaft* dan *fuel injection pump*) sehingga semua komponen ini dapat bekerja serentak pada tiap langkah dalam siklus pembakaran.

Timing Mark

Gambar 3.175. Tanda *timing*

Timing mark (Gambar 3.175) digunakan untuk mensejajarkan *gear* dan membantu memastikan *valve* dan *injection timing* yang tepat.

Crankshaft Gear

Gambar 3.176. Gigi poros engkol

Crankshaft gear (Gambar 3.176) dipasang pada *crankshaft* dan sebagai penggerak untuk *gear* lainnya.

Idler Gear

Gambar 3.177. Gigi perantara

Idler gear (Gambar 3.177) merupakan *cluster gear* yang dirancang dengan perbandingan *gear* yang menyebabkan *camshaft* berputar setengah dari kecepatan putar *crankshaft*. *Cluster gear* memiliki dua *gear* yang terpasang menjadi satu dimana *gear* yang lebih kecil (yang tersembunyi dibelakang *gear* yang lebih besar pada gambar ini) bertautan dan menggerakan *camshaft gear*.

Camshaft Gear

Gambar 3.178. Gigi poros bubungan

Camshaft gear (Gambar 3.178) bertautan dengan *idler gear* dan berputar setengah dari kecepatan putar *crankshaft* untuk memastikan *intake* dan *exhaust valve* membuka dan menutup pada waktu yang tepat, misalnya satu kali setiap putaran *engine* pada *engine* 4-langkah.

Fuel Injection Pump Gear

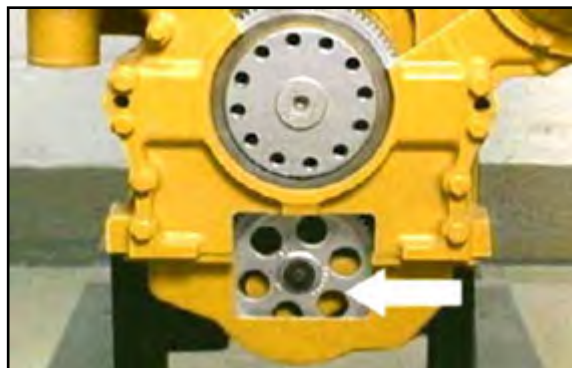
Gambar 3.179. Gigi pompa injeksi

Camshaft gear menggerakkan *fuel injection pump gear* (Gambar 3.179). Mengingat kedua ukurannya sama, kedunya berputar dengan kecepatan sama. *Fuel injection pump gear* memutarkan *fuel pump camshaft*, yang mengerakkan komponen-komponen sistem bahan bakar untuk mengalirkan bahan bakar menuju *cylinder* pada waktu yang tepat.

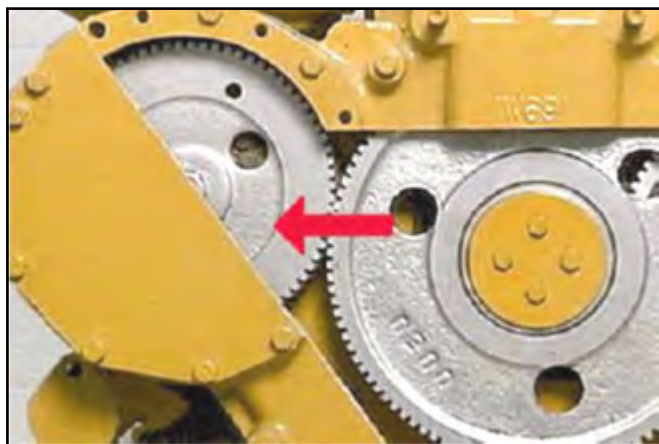
Balance Gear

Gambar 3.180. Gigi pengimbang

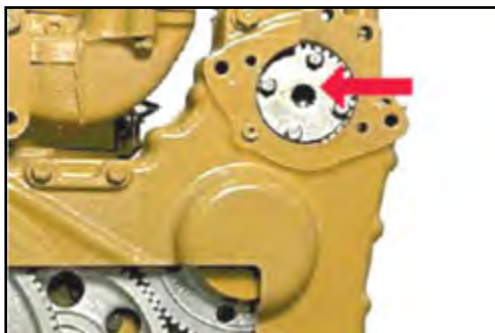
Beberapa *engine* dilengkapi dengan *balance shaft* (*shaft* penyeimbang) yang digerakkan oleh *camshaft* melalui *oil pump gear* dan *idler gear* (Gambar 3.180)
Pada gambar diatas, terdapat *balance shaft* pada setiap sisi *engine* untuk meniadakan vibrasi *crankshaft* yang berlebihan.

Oil Pump Gear

Gambar 3.181. Gigi pompa oli

Oil pump gear (Gambar 3.181) digerakkan oleh *crankshaft gear*. *Oil pump* mengalirkan oli *engine* keseluruh bagian pada *engine* yang memerlukan oli.

Water Pump Gear

Gambar 3.182. Gigi pompa air

Water pump gear (Gambar 3.182) biasanya digerakkan dan berputar dengan kecepatan yang sama dengan *crankshaft*. *Water pump* mengalir-kan air pendingin ke seluruh bagian pada *engine* yang memerlukan pendinginan.

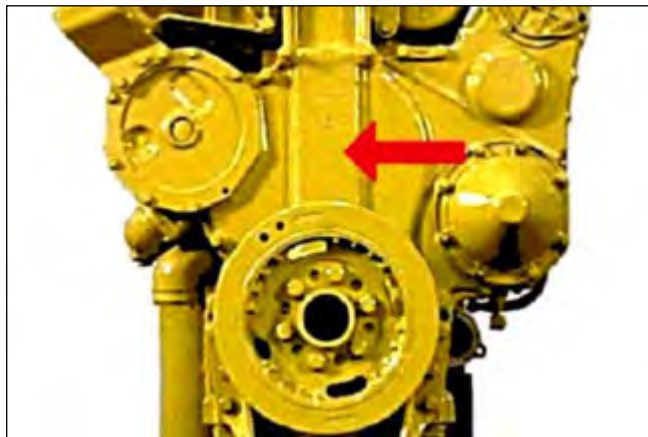
Air Compressor Gear

Gambar 3.183. Gigi kompressor

Pada beberapa *engine* terdapat *air compressor* untuk mendapatkan udara bertekanan untuk rem dan komponen lainnya. *Air compressor* digerakkan oleh *idler gear* dan berputar dengan kecepatan sesuai dengan yang dianjur kan pabrik (Gambar 3.183).

Pulley Assembly

Gambar 3.184. Puli dan kelengkapannya

Pulley assembly (Gambar 3.184) dipasang pada *crankshaft* dan menggerakkan komponen-komponen seperti *fan* (kipas) dan *alternator*.

Timing Gear Housing

Gambar 3.185. Tutup gigi *timing*

Timing gear housing (Gambar 3.185) melindungi semua *timing gear* pada *engine* dan menyekat bagian depan *engine block*.

Perbaikan Sistem Bahan Bakar Diesel

Adanya kebutuhan terhadap sistem bahan bakar yang bersih dan kedap udara pada mesin diesel mengakibatkan perlunya perbaikan dan perawatan yang teratur pada sejumlah komponen sistem dan perlengkapannnya. Titik-titik perbaikan umum kendaraan ringan yang bermesin diesel dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu perbaikan

komponen-komponen penyaringan, pemeriksaan atau penyesuaian/penyetelan kerja komponen-komponen, serta pemeriksaan kondisi kelayakan kerja komponen-komponen. Pemeriksaan-pemeriksaan atau penyetelan-penyetelan tersebut kebanyakan memerlukan waktu pelaksanaan yang sebentar sehingga perlu dilakukan dalam perbaikan kendaraan rutin, seperti misalnya saat penggantian pelumas. Pemeriksaan untuk penggantian dan penyetelan komponen yang diperlukan setelah kendaraan bekerja dalam suatu jangka waktu tertentu, hanya dilakukan setelah kendaraan tersebut mencapai jangka waktu atau jarak kilometer yang disarankan saja.

Titik-titik servis umum pada kendaraan diesel ringan adalah sebagai berikut :

- Filter udara primer dan sekunder
- Filter bahan bakar
- Sedimenter bahan bakar
- Kecepatan idle mesin
- Kecepatan maksimum mesin
- Kebocoran bahan bakar/udara
- Penyetelan sabuk timing
- Kondisi saluran bahan bakar
- Kerja indikator sedimenter
- Kekencangan baut-baut komponen

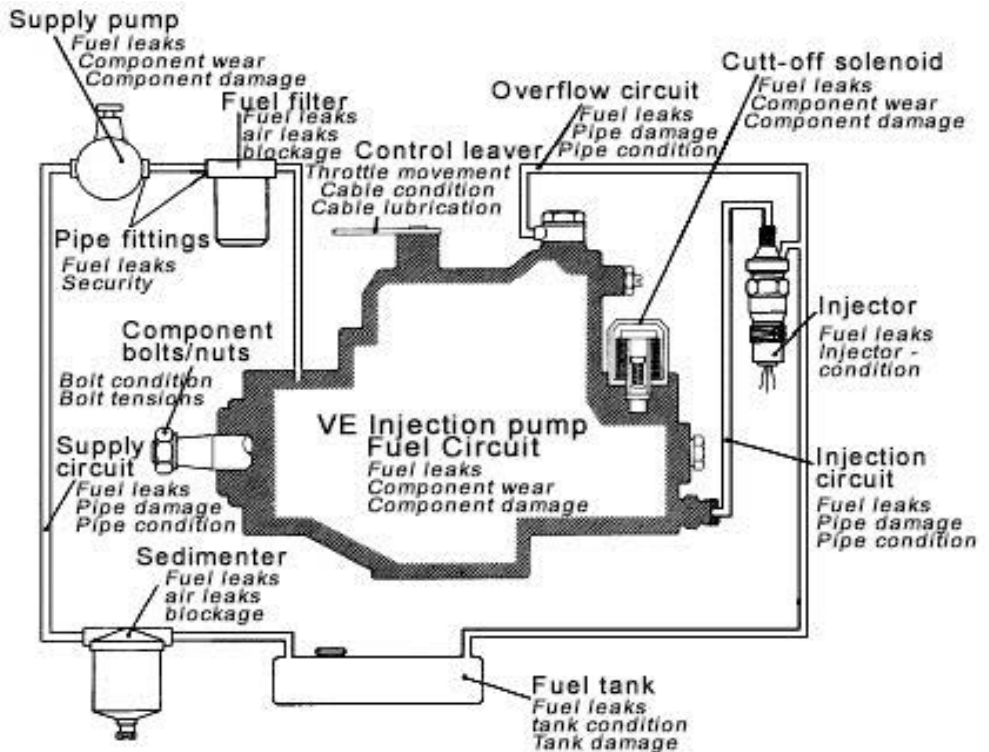
Pemeriksaan Sistem Penyaringan

Pemeriksaan sistem penyaringan dilaksanakan terhadap komponen-komponen yang berfungsi melakukan penyaringan dalam sistem bahan bakar diesel atau pada sistem-sistem yang berhubungan. Pemeriksaan sistem penyaringan dilakukan pada dua area, yaitu penyaringan bahan bakar diesel, meliputi sedimenter bahan bakar dan filter bahan bakar, dan penyaringan masukan udara yang meliputi pembersih udara primer dan sekunder.

Gambar 3.186. Pemeriksaan elemen filter bahan bakar

Pemeriksaan Kondisi Komponen

Pada pengecekan kondisi komponen dilakukan pemeriksaan pada komponen-komponen sistem bahan bakar apakah masih layak dipakai. Pada servis ini kondisi fisik komponen-komponen diperiksa secara visual apakah terdapat keausan, kerusakan atau kebocoran padanya. Komponen-komponen utama sistem bahan bakar yang memerlukan pemeriksaan kondisinya adalah pipa-pipa dan saluran-saluran pembagian suplai, rangkaian pipa bertekanan tinggi beserta penyambungnya (fitting), dan saluran-saluran dan pipa-pipa rangkaian aliran pelimpah. Pada pipa-pipa dan saluran-saluran dilakukan pemeriksaan terhadap adanya kerusakan fisik seperti retak akibat sudah terlalu tua atau aus, pemeriksaan apakah ada sambungan yang longgar atau kurang aman serta pemeriksaan adanya pipa yang terpuntir, tertekan atau bengkok.

Selain itu dalam pengecekan servis juga dilakukan pemeriksaan adanya kebocoran bahan bakar atau kebocoran udara dalam sistem bahan bakar. Kebocoran udara atau bahan bakar menunjukkan adanya komponen yang rusak, aus atau pemasangan yang kurang tepat. Kebocoran bahan bakar harus segera diperbaiki karena dapat mengakibatkan timbulnya bahaya kebakaran pada kendaraan. Kebocoran udara pada sistem bahan bakar akibat sambungan pipa yang kurang erat atau retak akan menurunkan performa mesin serta menimbulkan kemungkinan terjadinya kerusakan sistem bahan bakar akibat bahan pengkontaminasi yang tidak tersaring yang memasuki sistem bahan bakar. Pemeriksaan terhadap adanya kebocoran komponen harus dilaksanakan pada interval servis berkala saat mengganti pelumas mesin karena hal tersebut hanya memerlukan pemeriksaan visual pada semua komponen, termasuk tangki bahan bakar, garis bahan bakar, rumah filter/sedimenter, pompa bahan bakar injeksi, pompa pengangkat maupun injektor-injektor.

Gambar 3.187. Titik-titik pemeriksaan servis pada sistem bahan bakar diesel

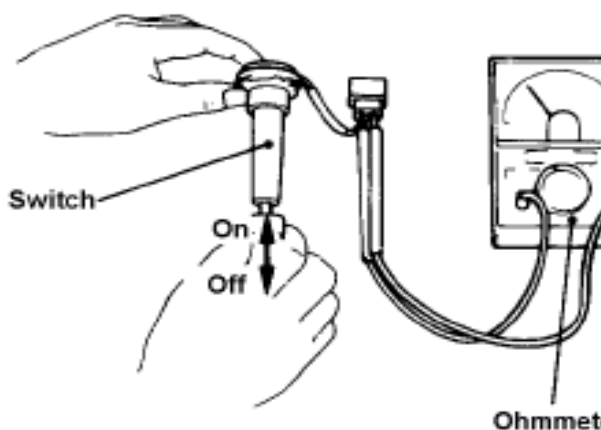
Pemeriksaan Kerja Komponen/Penyetelan Komponen

Pemeriksaan periodik berbagai komponen sistem bahan bakar dilakukan untuk pemeriksaan penyetelan komponen. Kerja berbagai macam komponen yang melaksanakan tugas-tugas penting dalam sistem harus disetel sesuai dengan spesifikasi pabrik agar kerja serta performa mesin menjadi efisien. Pemeriksaan setelan termasuk di antaranya adalah pemeriksaan kontrol kecepatan mesin pada katup trotel idle atau maksimum serta sabuk timing.

Pemeriksaan setelan sabuk timing perlu dilakukan karena sabuk timing yang kurang kencang akan sangat mempengaruhi waktu penginjeksian pompa injeksi bahan bakar. Hal ini disebabkan oleh pengendalian sabuk yang terlalu banyak berubah sehingga menyebabkan pengendalian pada pompa menjadi berubah-ubah, oleh karena itu maka mempengaruhi performa mesin.

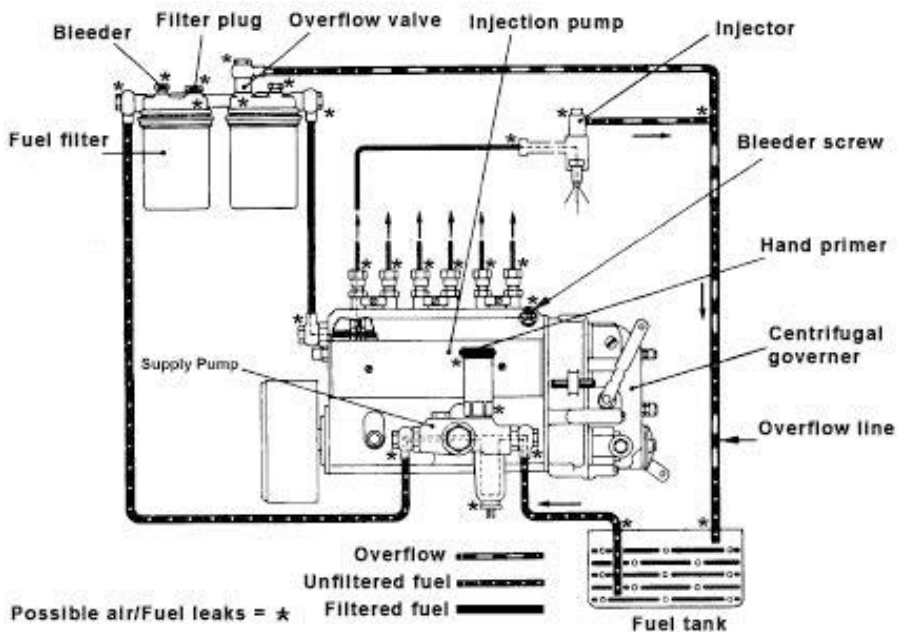
Pada pengecekan kerja komponen dilakukan pemeriksaan komponen-komponen minor pada system bahan bakar diesel apakah bekerja dengan baik. Komponen-komponen minor juga melakukan

tugas-tugas yang penting dalam sistem serta memerlukan pemeriksaan perawatan periodik untuk manjamin agar tetap bekerja dengan baik. Pada pemeriksaan kerja termasuk di antaranya adalah dilakukan pemeriksaan apakah saklar indikator level air pada sedimenter bahan bakar atau filter bahan bakar bekerja dengan baik.

Kerja komponen-komponen tersebut merupakan hal yang penting dalam sistem peringatan kontaminasi sistem bahan bakar. Pemeriksaan setelan komponen maupun pemeriksaan kerja komponen disarankan oleh pabrik untuk dilakukan secara teratur dalam interval servis tertentu sehingga tidak harus dilakukan saat penggantian pelumas.

Gambar 3.188. Pengetesan kerja saklar peringatan level air.

Titik-titik Kebocoran Bahan Bakar/Udara

Gambar 3.189, berikut menunjukkan titik-titik kebocoran yang bisa terjadi pada sistem bahan bakar diesel. Baik kebocoran bahan bakar maupun kebocoran udara bisa terjadi pada titik-titik ini karena daerah tersebut merupakan rangkaian pembagi bertekanan rendah yang dapat membuat tersedotnya udara lewat sambungan-sambungan yang buruk oleh pompa pengangkat.

Rangkaian bertekanan tinggi yang tidak ditunjukkan oleh gambar hanya akan mengalami kebocoran bahan bakar melalui sambungan-sambungan yang buruk karena tekanan sistem menghalangi udara memasuki rangkaian.

Gambar 3.189. Titik-titik tempat kemungkinan terjadinya kebocoran udara dan kebocoran bahan bakar pada sistem bahan bakar diesel

Pemeriksaan Kecepatan Mesin

Pemeriksaan dan penyetelan pengaturan kecepatan mesin diesel merupakan pekerjaan sederhana dan harus dilaksanakan secara teratur karena kontrol kecepatan dapat berubah selama usia pemakaian mesin. Ada dua hal yang harus diperiksa pada kontrol kecepatan mesin yaitu pemeriksaan kecepatan idle dan pemeriksaan kecepatan maksimum atau katup trotel penuh.

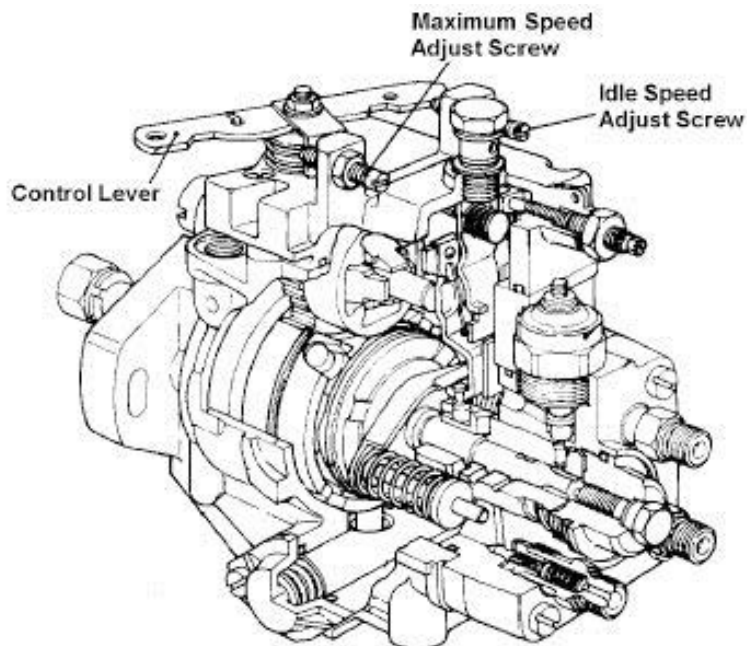
Prosedur pemeriksaan kecepatan idle dan maksimum adalah sebagai berikut :

Pemeriksaan kecepatan idle

- Pasang tachometer mesin diesel yang akurat untuk mencatat kecepatan mesin (RPM).
- Starter dan jalankan mesin hingga mencapai temperatur kerjanya, yaitu saluran bawah radiator menjadi hangat.
- Biarkan mesin menyala pada kecepatan idle. **Catatan** : yakinkan bahwa trotel tangan yang ada pada beberapa jenis kendaraan dalam keadaan ke belakang.
- Catat kecepatan idle mesin pada tachometer. Setel sesuai spesifikasi dengan menggunakan sekrup penyetelan idle pada tuas pengontrol pompa injeksi.

Pemeriksaan Kecepatan Maksimum

- Pasang tachometer mesin diesel yang akurat untuk mencatat kecepatan mesin (RPM).

- Starter dan jalankan mesin hingga mencapai temperatur kerjanya, periksa dan atur kecepatan idle sesuai spesifikasi.
- Buka katup pada posisi maksimum (tuas kontrol katup pada sekrup stop) dan catat kecepatan maksimum mesin pada tachometer.
- Atur kecepatan maksimum sesuai spesifikasi dengan menggunakan sekrup stop katup penuh tuas kontrol.

Gambar 3.190. Sekrup pengatur kecepatan maksimum dan idle pada pompa bahan bakar diesel.

Pemeriksaan Pembersih Udara

Sebagaimana yang disebutkan pada buku May & Crouse, walaupun bukan merupakan sistem bahan bakar, servis pembersih udara penting bagi kerja yang efisien serta bagi performa mesin dan sistem bahan bakar. Pembersih udara yang tersumbat atau terhalang akan menimbulkan aliran udara yang terhambat yang diperlukan oleh mesin sesuai dengan besarnya bukaan katup (terutama bukaan katup yang besar atau kecepatan tinggi).

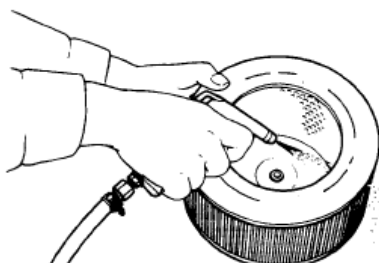
Hal tersebut akan mengakibatkan terjadinya campuran udara dan bahan bakar yang kaya pada ruang pembakaran, karena sitem bahan bakar diesel tidak bisa mengkompensasi kekurangan udara. Berbeda dengan sistem bahan bakar bensin yang bisa melakukan hal

tersebut,. sistem bahan bakar diesel memberikan sejumlah bahan bakar terukur sesuai dengan posisi katup dan governor.

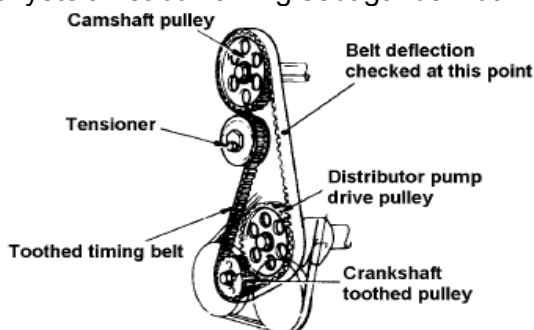
Oleh karena itu pembersih udara yang tersumbat akan menimbulkan campuran yang terlalu kaya yang mengakibatkan asap pembuangan yang hitam yang terjadi dari bahan bakar yang tidak terbakar, performa mesin yang buruk serta juga kemungkinan terjadinya kerusakan mesin yang disebabkan endapan karbon dan bahan pengkontaminasi bahan bakar pada pelumas mesin. Maka diperlukan pemeriksaan pembersih udara secara teratur sehingga diperoleh kerja mesin yang efisien karena adanya kerja sistem bahan bakar yang efektif.

Prosedur servis filter udara pada mesin diesel kendaraan ringan serupa dengan pada kendaraan berbahan bakar bensin karena pada umunya menggunakana filter jenis elemen. Pada kendaraan yang bekerja pada kondisi yang ekstrem bisa digunakan dua filter, filter primer dan sekunder. Perhatikan manual mengenai prosedur servis dan interval waktu yang disarankan.

Prosedur Perbaikan Standard *Filter* Elemen Kering

- Lepaskan *filter* udara dari tempatnya.
- Semprot *filter* udara dengan udara bertekanan rendah berlawanan arah normal aliran udara melalui elemen filter. catatan : Beberapa tipe *filter* elemen kering bisa dibersihkan dengan mencucinya dengan menggunakan cairan pembersih khusus.
- Periksa kondisi *filter* dengan cara meletakkan lampu di bagian dalam elemen lihat apakah ada tempat-tempat gelap yang berarti adanya penyumbat *filter* atau jika pada elemen kertas apakah ada cahaya yang tembus yang berarti terdapat lubang.
- Bersihkan tempat/wadah pembersih udara dari kotoran, debu atau bahan-bahan lain. Periksa seal wadah dan *snorkel* masukan udara apakah ada kerusakan.
- Pasang kembali elemen *filter* pada wadahnya.

Gambar 3.191. Metode penyemprotan dengan udara yang tepat untuk filter elemen kering

Penyervisan Kekencangan Sabuk Timing

Seperti telah disebut di muka, diperlukan penyervisan secara periodik pada mesin disel yang menggunakan sabuk timing karet bergigi agar tetap memenuhi spesifikasi pabrik. Sabuk yang kendor menimbulkan masalah dalam pewaktuan injeksi bahan bakar. Permasalahan yang timbul adalah nilai pewaktuan berubah dengan besar karena sabuk mula-mula tersangkut kemudian mengencang, yang disebabkan *vale rocker* bergerak naik turun pada puncak bubungan. Walaupun sabuk *timing* seharusnya disetel sesuai dengan prosedur pada manual dari pabrik, kebanyakan desain mesin memiliki puli pengatur kekencangan yang menggunakan pegas untuk mengatur kekencangan sabuk selama dilakukan servis. Perhatikan selalu manual dalam prosedur servis yang tepat. Di samping demikian dapat juga digunakan prosedur standar penyetelan sabuk timing sebagai berikut:

Gambar 3.192. Sabuk timing bergerigi dan titik pemeriksaan kelengkungan sabuk standar

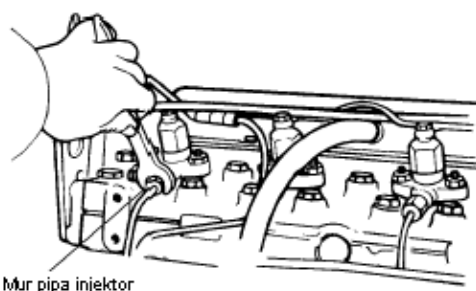
Prosedur Standard Penyetelan Sabuk Timing

- Lepas penutup sabuk timing dan komponen-komponen lain yang berhubungan.
- Periksa kondisi sabuk timing dan roda gigi penggerak sabuk apakah sudah aus. Ganti jika perlu.
- Kendurkan baut puli pengencang sabuk timing sehingga pegas pengencang bekerja pada puli.
- Putar mesin dengan hati-hati pada baut puli poros engkol sesuai arah normal putaran mesin. Hal ini akan mengakibatkan sabuk pada sisi penggerak menjadi kencang sedangkan sisi lain akan mengendur hingga sesuai dengan keperluan.
- Saat puli pengencang berpegas menekan sabuk yang kendur kencangkan baut puli pengencang sesuai spesifikasi.
- Putar mesin dua sampai tiga kali dan periksa kelurusan dengan memperhatikan tanda timing katup.

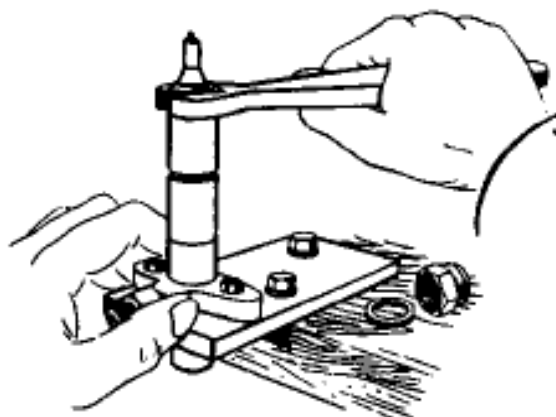
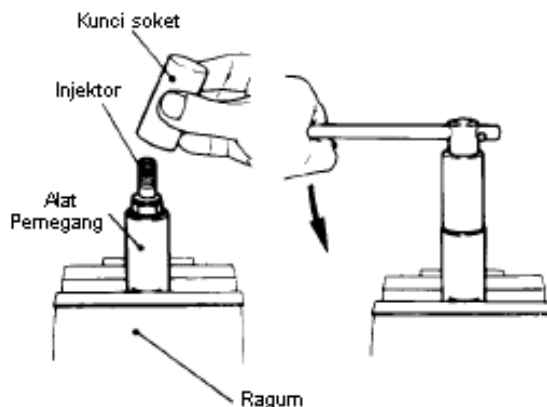
- Periksa kembali kekencangan sabuk timing berdasarkan manual, yaitu besarnya lengkungan pada sisi penggerak, jika perlu atur kembali.
- Pasang kembali penutup sabuk timing dan komponen-komponennya, starter mesin dan periksa apakah ada suara bernada tinggi yang berarti sabuk terlalu kencang.

Servis, Pengetesan dan Perbaikan Injektor Disel

Menentukan Kerusakan Injektor

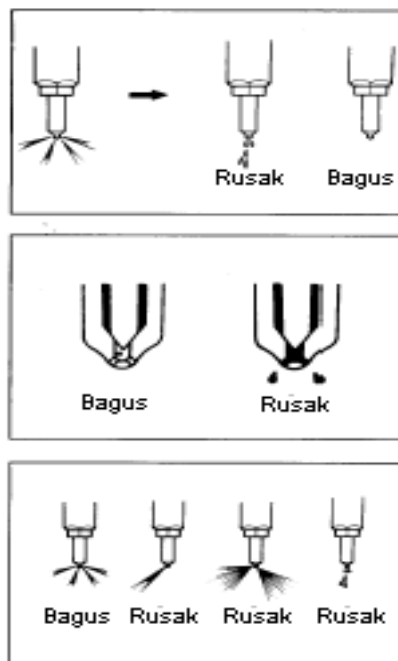
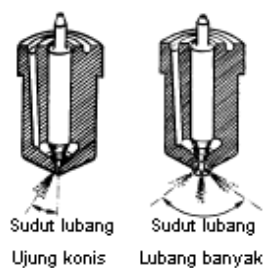
Sesuai penjelasan dalam buku yang ditulis oleh ***May and Crouse***, sebuah kesalahan pada injektor akan dapat di identifikasikan dengan cara mengendorkan pipa injektor pada masing – masing injektor pada waktu yang berbeda. Cara ini menghilangkan tekanan kerja masuk ke injektor. Sebuah injektor yang bagus apabila dikendorkan pipanya akan menghasilkan penurunan putaran (Rpm) pada mesin yang menunjukkan silinder yang sedang bekerja sekarang tidak berfungsi. Pada injektor yang terganggu penurunan putaran mesin tidak sebesar pada mesin yang injektornya bekerja. Ini merupakan tes yang teliti, walaupun tidak semata-mata menunjukkan bahwa penyebabnya adalah injektor tetapi bisa saja karena hilangnya tekanan kompresi, atau kerusakan yang berasal dari pompa injeksi.
Prosedur pengujian injektor dapat mendeteksi kerusakan, apakah injektor yang rusak atau bagian mesin yang lain. Prosedur pengujian injektor dapat dengan cara untuk memindahkan injektor (yang dianalisa tidak bekerja) dengan injektor lain (dari silinder yang disinyalir bekerja), jika gangguan berpindah kesilinder lain yang ditukar injektornya berarti gangguan benar berasal dari injektor, tetapi apabila gangguan tetap pada silinder yang terdahulu berarti gangguan bukan berasal dari injektor tetapi dari bagian lain pada silinder tersebut atau dari pompa injeksi.

Gambar 3.193. Pengendoran Pipa Injektor Selama Pengetesan Penelusuran Injektor

Mendudukkan Injektor Ketika Menservis

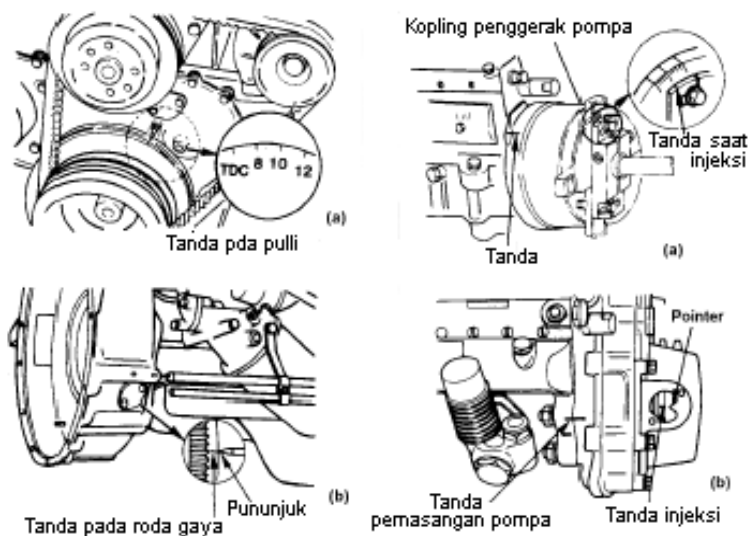
Perhatian utama berkaitan dengan pemegangan atau penjepitan injektor selama mengoverhoul atau menservis berkenaan dengan kemungkinan kerusakan akibat pendukungan yang tidak tepat. Injektor merupakan sebuah unit yang memiliki toleransi halus, perubahan kecil pada body injektor akibat pemegangan yang tidak tepat pada ragum / penjepit akan menyebabkan kemacetan pada injektor. Sebuah injektor memerlukan perawatan khusus seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.193. dan 3.194. Pemegangan atau penjepitan dirancang untuk mencegah terjadinya kerusakan pada body injektor akibat dari pemegangan yang tidak tepat. Tersedia dua rancangan satu untuk dudukan injektor lubang banyak dan satunya untuk pemegang injektor jenis pintel. Selalu gunakan pemegang/penjepitan. Jangan jepit langsung pada ragum.

Gambar 3.194. *Cara Tepat Pemegangan Injektor*

Gambar 3.195. Cara Tepat Penjepitan Injektor Tipe Ulir

Bentuk-bentuk Penyemprotan Lubang Banyak

Pada gambar 3.195, dibawah ini menunjukkan bentuk penyemprotan yang baikl dan buruk pada injektor lubang banyak.

Catatan : Beberapa macam injektor lubang lubang banyak mempunyai arah semprotan tertentu seperti ditunjukkan dalam gambar 3.196, dimana satu sisi pada penyemprotan injektor lubangnya terhalang. Ini memang dibuat dan injektor tersebut berfungsi dengan benar. Bentuk semprotan ini dirancang pada arah agar bahan bakar teraduk langsung didalam ruang bakar pada banyak rancangan.

Gambar 3.196. Bentuk Semprotan Baik dan Buruk untuk Nosel Injektor Lubang Banyak

Gambar 3.196. Bentuk Semprotan Konis Nosel Injektor Ketika Terbuka

Servis, Pengetesan dan Perbaikan Pompa Injeksi
Tanda-tanda *Timing* Pada mesin Disel

Pada Lazimnya mesin disel menyediakan dua set tanda saat injeksi dengan tujuan untuk saat injeksi silinder engin dan saat injeksi bahan bakar. Kedua tanda injeksi tersebut berhubungan antara satu dengan yang lainnya ketika menepatkan saat injeksi silinder nomor satu. Tanda injeksi yang pertama pada mesin yang terdapat pad peredam getaran poros engkol (pulli) atau pada roda gaya mesin yang digunakan untuk mengidentifikasi dimana pompa injeksi bahan bakar akan mulai memompa. Yaitu beberapa derajat sebelum TMA pada silinder pertama saat langkah kompresi. Kedua variasi tanda tersebut ditunjukkan pada gambar 6 (sisi kiri).

Gambar 3.197. Menunjukkan Dua Rancangan Tanda-tanda Saat Injeksi Engin (sisi kiri) dan Dua Rancangan Tanda-tanda Saat Injeksi Pompa (sisi kanan)

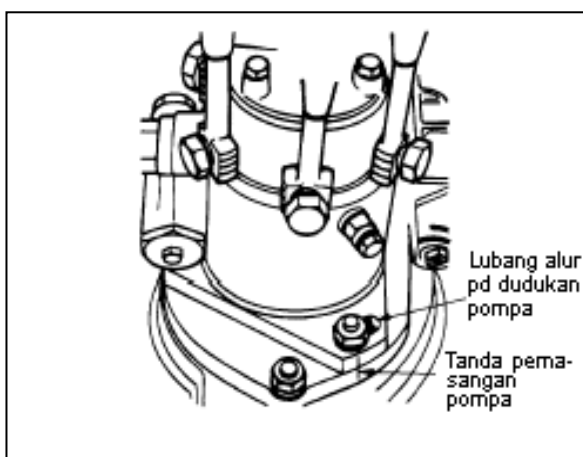
Tanda injeksi yang kedua terdapat pada pompa injeksi yang mana tanda tersebut memastikan bahwa plunyer pompa mulai menyalurkan (menyemprot) bahan bakar ke injektor. Tanda-tanda tersebut ditunjukkan pada gambar 6 (sisi kanan) yang dapat terletak pada dudukan pompa atau pada kopling penggerak pompa injeksi. Banyak tanda saat injeksi menyediakan tanda derajat pemajuan pemompaan atau mundur untuk keperluan penyetelan saat injeksi pompa.

Penyetelan Pompa Injeksi Bahan Bakar

Penyetelan saat injeksi pompa injeksi bahan bakar memerlukan cara yang sederhana pada dengan mengendorkan baut-baut pengunci dudukan pompa dan pipa-pipa penyalur tekanan tinggi. Dengan

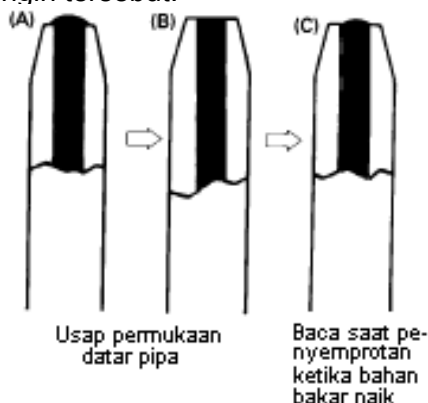
pompa yang bebas bergerak akan dapat digeser pada slot (celah) sampai titik yang terbatas dan pipa bahan bakar dikencangkan lagi.

Terdapat banyak cara yang berbeda dalam penepatan saat injeksi pompa, yang mana banyak rancangan yang menentukan saat injeksi mesin beberapa derajat Sebelum TMA. Pada titik ini bodi pompa injeksi digeser mendekati atau menjauhi blok mesin sambil diperiksa posisinya dengan dial indikator (Pompa Injeksi Jenis VE) atau sambil memperhatikan berhentinya pembocoran bahan bakar dari pipa leher angsa (pada Pompa Injeksi Jenis Sebaris).

Pipa tekanan tinggi dan pemberi harus dilepas pada saat penyetelan saat injeksi untuk mencegah kerusakan pipa. Setelah selesai penyetelan dan dikencangkan pengikatannya, pipa-pipa bahan bakar harus dibleeding dari kandungan udara.

Gambar 3.198. Alur penyesuaian penyetelan pada dudukan pompa

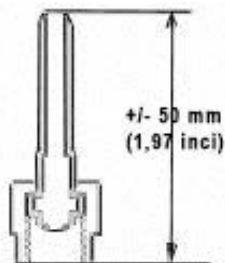
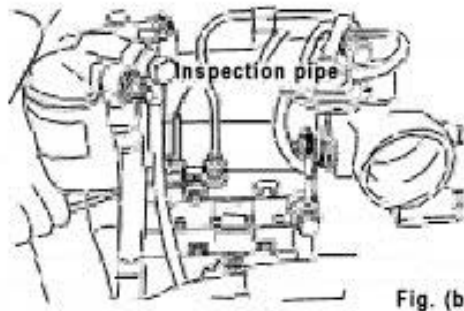
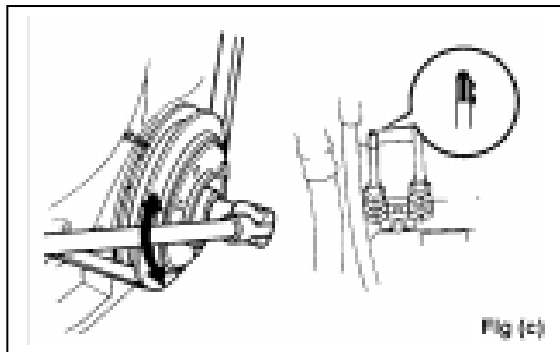
Cara Lain Penyetelan Saat Injeksi (Bukan Cara Berhentinya Bahan Bakar)

Cara baru pada penyetelan saat injeksi pompa bahan bakar dengan menggunakan pipa kapiler dengan memperhatikan naiknya bahan bakar pada pipa tersebut, cara ini kurang teliti dibandingkan dengan cara memperhatikan berakhirnya pembocoran dengan pipa leher angsa.sebagai cara penyetelan saat injeksi yang asli. Namun demikian cara baru ini memiliki kelebihan yaitu dapat melihat lebih tepat saat mulainya memompa dengan melihat proses gerakan bahan bakar, juga lebih sering digunakan karena tidak harus memompa pompa pemberi untuk menghasilkan aliran bahan bakar yang tetap saat menggunakan pipa leher angsa, keuntungan lainnya adalah tidak perlu melepas katup penyalur dan rangkaian pegasnya.

Cara pengetesan ini perlumelepas pipa tekanan tinggi silinder nomor satu dari pompa injeksi dan mengganti dengan dengan pipa khusus (pipa kapiler transparan atau pipa tekanan tinggi yang telah lama). *Engine* perlu diputar dengan tangan atau dengan menstart engin sampai bahan bakar nampak diujung atas pipa. Kelebihan bahan bakar diusap sampai permukaannya rata seperti ditunjukan pada gambar 3.199 (B), *Engine* kemudian diputarkan perlahan dengan tangan searah putarannya sambil memperhatikan pada pipa pemeriksaan sampai bahan bakar mulainaik Gambar 3.199 (C). Pada saat bahan bakar mulai naik itulah saat injeksi yang tepat sedang terjadi pada engin tersebut.

Gambar 3.199. Menunjukkan Proses Pengusapan Bahan Bakar pada Pipa Pemeriksaan Sampai Rata dengan Ujungnya dan Pembacaan Saat Injeksi ketika Bahan Bakar Mulai Naik

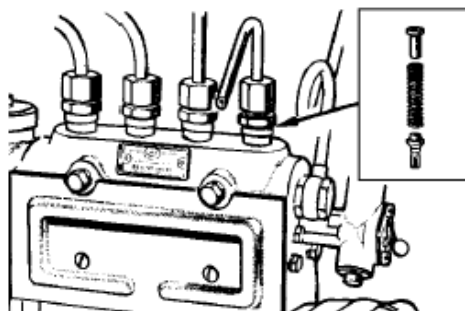
Penyetelan saat injeksi cara sederhana ini perlu memutar poros engkol sampai tanda timing sebesar 18^0 sebelum TMA. Dengan pompa injeksi kendor dan pipa-pipa kendor, pompa diputarkan kearah yang sesuai sampai bahan bakar bergerak pada pipa pemeriksaan. Pada titik ini pompa injeksi dikencangkan kembali.

Prosedur Selain Pembocoran Saat Injeksi

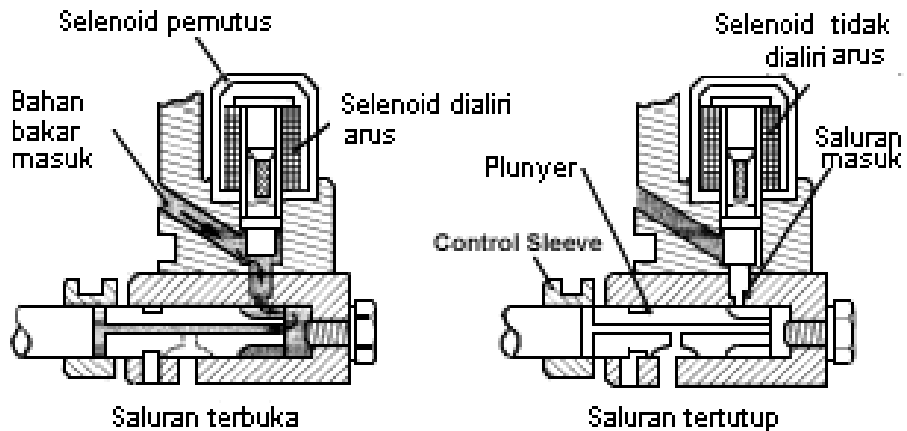
- Pembuatan dari pipa tekanan tinggi bekas seperti ditunjukkan pada gambar (a).

- Lepas pipa tekanan tinggi nomor 1 (satu) dari pompa injeksi
- Pasangkan pipa pemeriksaan yang telah dibuat ke pompa untuk silinder nomor 1 (b)

- Putar engin dengan tangan atau dengan motor starter sampai bahan bakar keluar dari pipa pemeriksaan seperti ditunjukkan pada gambar (c).

- Usap kelebihan bahan bakar pada ujung pipa pemeriksaan sampai bahan bakar rata dengan ujung pipa pemeriksaan.
- Putar poros engkol dengan tangan searah putaran kerja sampai bahan bakar mulai membengkak di ujung pipa seperti yang ditunjukkan pada gambar (d).

- Berhentilahj memutar poros engkol, lihat tanda saat injeksi pada engin.

Pelepasan Katup Penyalur

Saat injeksi pada pompa injeksi sebaris diperiksa dengan pipa leher angsa dengan prinsip berhentinya pembocoran bahan bakar, seperti tertulis pada ***May & Crouse*** yang memerlukan pelepasan rangkaian katup penyalur. Prosedur ini memerlukan pemompaan pompa tangan untuk menghasilkan aliran bebas keluar dari pipa leher angsa selama pengetesan. Proses ini tidak mungkin terjadi apabila terpasang katup penyalur dengan pegas penekan yang tertekan oleh pemegang pegas, sehingga menghasilkan penutupan yang rapat. Hanya tekanan yang tinggi dari bahan bakar yang dapat mengangkat dudukan piston katup dan tidak mungkin dengan pengoperasian pompa tangan. Adanya hambatan aliran akibat terpasangnya katup penyalur menyebabkan pengetesan tidak efektif, sehingga katup penyalur dan pegas harus dilepas untuk memungkinkan aliran bebas hambatan dari pipa leher angsa selama prosedur pengetesan saat injeksi.

Gambar 3.200. Pelepasan Katup Penyalur dan Pegas

Prosedur Penyetelan Saat Injeksi dengan Selenoid Elektrik Pemutus Aliran

Selenoid Pemutus aliran bahan bakar listrik dirancang untuk memutuskan aliran bahan bakar ke dalam pompa innjeksi ketika Kunci Kontak dimatikan, dimana seketika aliran diberhentikan danengin mati. Apabila Kunci Kontak di ON-kan selenoid dialiri listrik dan membuka saluran sehingga bahan bakar dapat mengalir masuk ke pompa injeksi. Selama pemeriksaan saat injeksi yang dilengkapi dengan selenoid pemutus aliran bahan bakar, Kunci Kontak harus di ON-kan untuk membuka selenoid sehingga bahan bakar dapat mengalir terus menerus pada pompa injeksi.

Gambar 3.201. Selenoid Pemutus Aliran Bahan Bakar Saat Membuka dan Menutup

Pengujian Pompa Injeksi pada Meja Penguji.
Pengujian, penservisan dan pembongkaran pada Meja Penguji pompa injeksi diesel meliputi prosedur pemeriksaan dan penyetelan lima langkah kerja pompa. Pengetesan pada Meja Penguji umumnya dilakukan oleh bengkel servis khusus pompa injeksi, sebagaimana disebutkan pada buku ***May and Crouse***, yang menyebutkan beberapa ide pembongkaran dan prosedur pengetesan. Standar pengetesan pada meja penguji dan prosedur pembongkaran untuk pompa injeksi dijelaskan sebagai berikut:

- Hasil Pemompaan Pompa
- Bahan bakar tersapur diperiksa pada bermacam posisi pembukaan katup, terutama pada pembukaan penuh, dengan mengukur volume (jumlah bahan bakar) yang melewati tiap injektor selama 200 kali pemompaan.
- Pengesetan Bahan Bakar Maximum
- Penyaluran bahan bakar maximum diperiksa untuk meyakinkan bahwa mesin dapat hidup dan menghasilkan tenaga yang maximal pada saat diperlukan pemborosan bahan bakar atau untuk mencegah kecepatan berlebihan pada engin.
- Kerja ***Governor***.
- Kerja governor diperksa untuk meyakinkan kerja pengaturan penyaluran bahan bakar saat idel dan kecepatan maksimum, berkaitan dengan posisi katup gas dan beban engin.

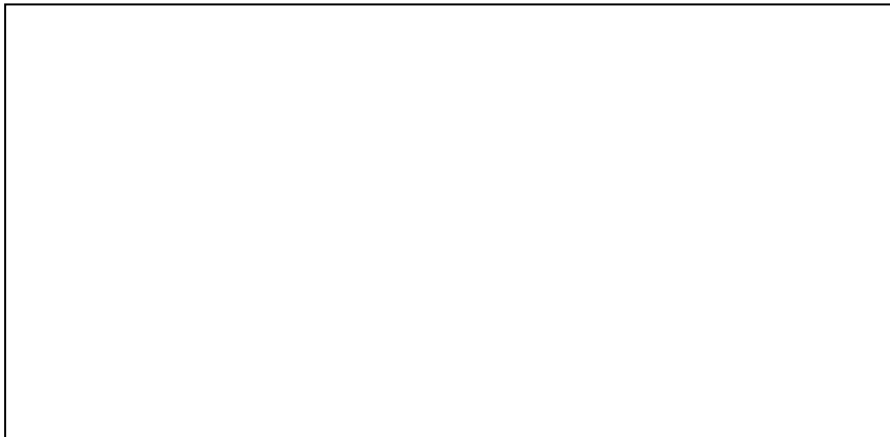
- Kerja Pompa Pengalir & Penyetelan Tekanan
- Pompa pengalir diperiksa alirannya dan tekanannya untuk meyakinkan bekerja dengan benar dan tekanannya ter-regulasi (teratur) dengan benar.
- Kerja Kelengkapan Pemaju Kecepatan.
- Kerja Kelengkapan Pemaju diuji untuk meyakinkan pemajuan saaty injeksi bekerja dengan benar sesuai dengan kecepatan engin.

Pelepasan, penyimpanan, pengangkutan dan pemasangan komponen-komponen sistem bahan bakar diesel memerlukan beberapa langkah penanganan / tindakan pencegahan yang harus diperhatikan. Tindakan pencegahan ini perlu untuk meyakinkan bahwa tidak ada masalah (partikel kotoran / debu atau air) yang terdapat selama dilakukan pemasangan. Injektor dan pompa injeksi merupakan komponen yang toleransinya halus yang mudah rusah atau terganggu oleh partikel asing. Selama melepas pipa-pipa bahan bakar termasuk pipa pada pompa injeksi atau pipa pembocor bahan bakar dan pipa pada injektor, ujung pipa harus disumbat dengan tutup plastik.

C*atatan* : Jangan menggunakan kain lap atau serabut kain akan masuk ke komponen. Penutupan ujung pipa mencegah masuknya kotoran ke komponen. Injektor diesel juga semestinya ditutup plastik untuk mencegah kerusakan ujung nozle atau pasak pada saat penyimpanan atau pengangkutan.

Super hati-hati harus dilakukan ketika memasang pompa injeksi untuk mencegah ketidak tepatan pemasangan saat penyemprotan dan terlalu tegangannya pemasangan sabuk timing karet. Ketidak tepatan saat penyemprotan akan menyebabkan kemampuan engin yang jelek dan boros pemakaian bahan bakar. Perhatian harus dilakukan untuk mengidentifikasi tanda saat penyemprotan pada roda-roda gigi sebelum pelepasan komponen juga bila mungkin beri tanda pada sabuk timing untuk meyakinkan pemasangan kembali nantinya pada arah putaran yang sama. Kelebihan tegangan pada pemasangan sabuk timing harus dihindarkan untuk mencegah suara penggerakan yang keras dan keausan yang cepat atau kemungkinan robek. Selalu konsultasi dengan buku manual pabrik pembuat untuk prosedur penepatan saat penyemprotan dan prosedur pengencangan sabuk timing bergigi

d. Latihan

Bacalah latihan dibawah ini dan kerjakan dengan benar, setelah itu periksakan keteman sejawat dan kepembimbing.

a. Tuliskan 3 hal utama yang membedakan motor bensin dengan motor disel.
   a. ______________________________
   b. ______________________________
   c. ______________________________

b. Gambarkan diagram proses pembakaran pada motor disel

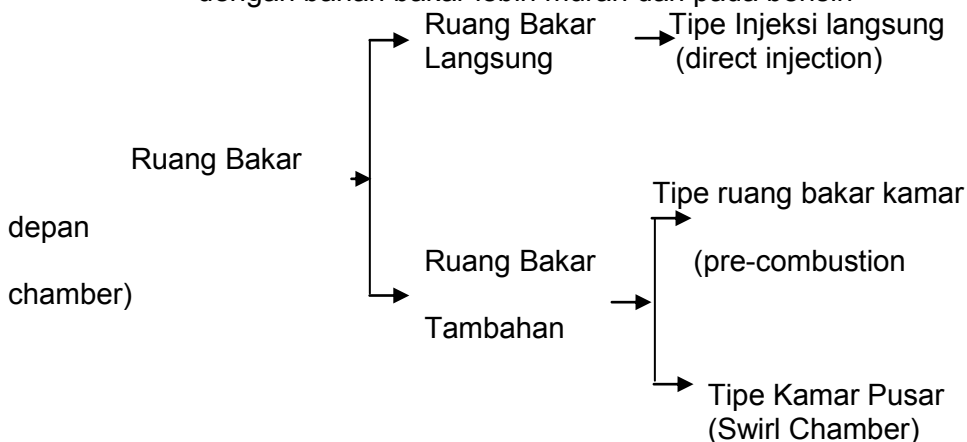
c. Jelaskan peran ruang bakar pada motor disel.
   ____
   ____

d. Dilihat dari penginjeksian solar pada motor disel maka dapat dibedakan menjadi dua tipe,, yaitu:
   a. ______________________________
   b. ______________________________

e. Gambarkan rangkaian busi pijar pada motor disel.

c. Rangkuman

Motor disel adalah motor bakar dengan pembakaran di dalam yang menggunakan solar sebagai bahan bakar.
Motor disel adalah motor bakar yang memanfaatkan panasnya kompresi udara murni di dalam silinder untuk membakar semprotan bahan bakar dari injektor.
Peranan dan model ruang bakar pada motor disel sangat menetukan kecepatan pembakaran karena motor disel membutuhkan turbulensi pemasukan, proses pembakaran dan juga pembuangan.
Motor disel dapat dikelompokkan menjadi motor disel injeksi langsung *(direct injection)* dan injeksi tidak langsung *(indirect injection).*
Motor disel dapat:

- Menaikkan rendemen motor (rendemen motor bensin = 30 %, rendemen motor Diesel = 40 – 51 %)
- Mengganti sistem pengapian dengan sistem penyalaan siri, karena sistem pengapian motor bensin pada waktu itu kurang baik
- Mengembangkan sebuah mobil yang dapat dioperasikan dengan bahan bakar lebih murah dari pada bensin

Cincin torak
Fungsi.

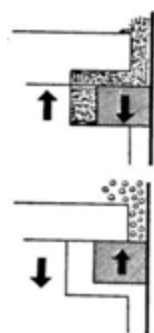
- Sebagai perapat antara torak dengan silinder, agar tidak terjadi kebocoran gas dari ruang bakar ke ruang engkol.
- Sebagai penyekat oli pada dinding silinder, agar tidak masuk ke ruang bakar dan akan mengganggu proses pembakaran.
- Memindahkan panas torak ke dinding silinder selanjutnya ke air pendingin yang ada pada *water jacket.*

Posisi cincin torak pada kerja torak.

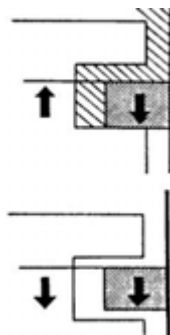
- Pada saat torak bergerak dari TMB ke TMA posisi cincin torak berada dibagian bawah alur akibat tekanan gas bekas dan gesekan cincin torak dengan dinding silinder, berikut ini adalah posisi cincin torak pada setiap langkah torak.

Cara kerja:

Langkah buang :
Torak bergerak dari TMB ke TMA posisi cincin torak berada dibagian bawah alur akibat tekanan gas bekas dan gesekan cincin torak dengan dinding silinder

Langkah hisap :
Torak bergerak dari TMA ke TMB posisi cincin torak berada pada bagian atas alur, akibat dari gesekan cincin dengan dinding silinder.

Gambar 3.201. Posisi langkah buang dan hisap

Langkah kompresi:
Torak bergerak dari TMB ke TMA posisi cincin torak seperti pada langkah buang, sehingga gas dapat dimanfaatkan dengan sempurna

Langkah usaha :
Pada awal langkah usaha, posisi cincin torak berada pada bagian bawah alur. akibat tekanan gas pembakaran selanjutnya cincin torak akan berada ditengah akibat dari gesekan

Gambar 3.202. Posisi cincin pada langkah kompresi dan usaha

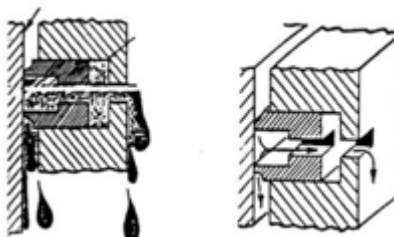
Persyaratan bahan

- Tahan aus liat dan mempunyai sifat luncur yang baik
- Mempunyai kualitas pemegasan *(defleksi)* yang baik
- Kelentingan pegas tidak berubah akibat temperatur tinggi

Contoh-contoh cincin kompresi

Bentuk – bentuk	Keterangan
Cincin persegi panjang	• Kuat, bentuk sederhana • Pembuatan mudah • Kadang-kadang permukaannya sedikit cembung
Cincin bidang tirus	• Dimaksudkan agar supaya pada awal *engine hidup (running in)* dalam waktu singkat diperoleh kerapatan permukaan yang baik
Cincin Trapesium	• Dengan adanya sudut kemiringan cincin torak, pada gerakan radial akan memperoleh kelonggaran sehingga cincin torak dapat bergerak bebas pada alurnya apabila terjadi perubahan bentuk (distorsi) atau noda-noda pada dinding silinder • Kemungkinan macet kecil sekali.
Cincin bentuk L	• Dipakai pada motor 2 tak dan motor–motor balap • Ringan dan kuat • Mahal dan jarang ada

Gambar 3.203. Bentuk-bentuk cincin kompresi

Cincin oli

Gambar 3.204. Cincin oli

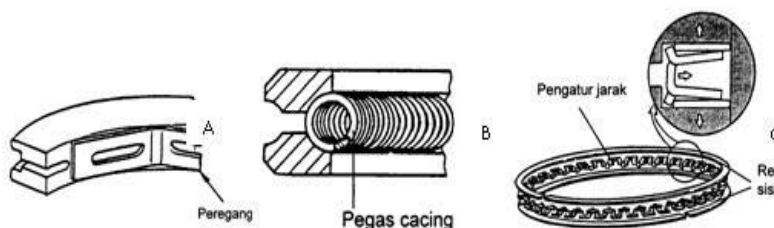
Fungsi:

- Mengikis kelebihan oli pada dinding silinder
- Membentuk lapisan oli tipis dan merata pada dinding silinder agar dinding silinder tidak cepat aus

Cara kerja.

Pada saat torak bergerak dari TMB ke TMA, oli akan melumasi dinding silinder melalui saluran/perlengkapan dari sistem pelumasan. Pada saat torak bergerak dari TMA ke TMB, cincin oli akan mengikis sebagian oli pada dinding silinder dan membentuk lapisan oli yang tipis dan merata di sekeliling dinding silinder
Persyaratan bahan cincin torak.
Cincin torak yang terpasang pada alur torak adalah komponen kelengkapan torak yang menerima panas, tekanan dan gesekan yang sangat besar maka selain pelumasan yang cukup maka bahan cincin torak juga harus memenuhi syarat sebagai berikut.

- Mempunyai sifat luncur yang baik
- Pada cincin oli tanpa peregang harus mempunyai kualitas pemegasan (defleksi) yang baik.
- Kelentingan pegas harus mampu membentuk lapisan oli yang sesuai dengan silinder

Jenis-jenis cincin oli

Gambar 3.205. Bentuk cincin oli

Gambar A. Akibat pemakaian yang lama, keausan permukaan luncur dinding silinder bagian atas & bawah tidak sama. Maka perlu adanya peregang agar cincin oli dapat meregang pada setiap kedudukan dalam silinder
Gambar B. Untuk mengindari tersumbatnya lubang – lubang pengembali pada cincin oli, maka cincin oli dilengkapi dengan peregang pegas cacing
Gambar C. Peregang berfungsi untuk mempertinggi tekanan permukaan pada dinding silinder, juga untuk menyesuaikan tinggi kombinasi cincin pada alurnya.Keausan pada alur akibat waktu

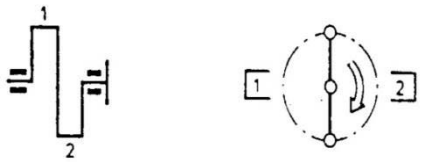
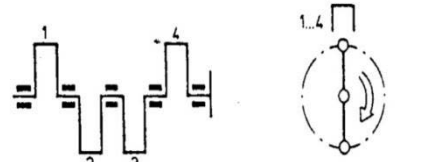
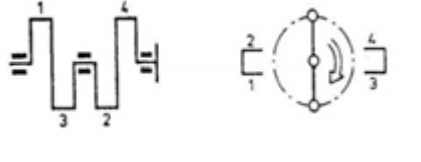
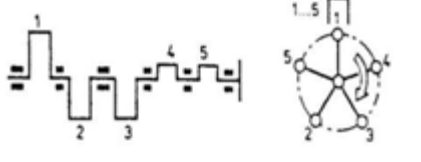
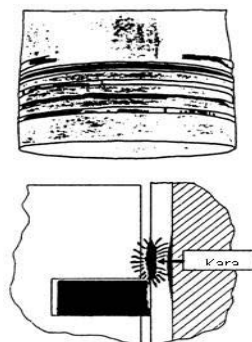
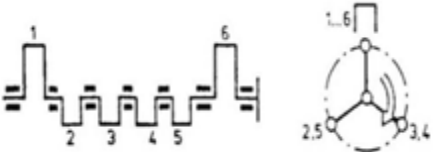
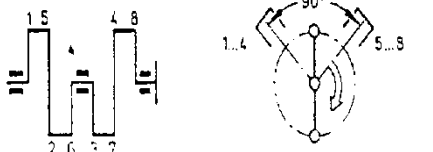
pemakaian yang lama, tidak mengakibatkan kebocoran oli pada ruang bakar

Masalah–masalah pada cincin torak

Masalah yang dapat terjadi pada cincin torak akan relatif terjadi karena fungsi cincin torak yang cukup berat, dari banyak masalah yang akan timbul berikut ini diantaranya.

- **Cincin patah dan terbakar**

  Deposit yang diakibatkan oleh panas yang berlebihan, bahan bakar yang tidak terbakar dan oli yang kotor, akan menempel dan menyumbat alur cincin. Deposit membeku dan mengeras, cincin torak menjadi ,macet dan akhirnya patah

- **Keausan setempat akibat dari kotoran/karatan pada tabung silinder kering.**

  Kotoran/karatan antara tabung dan silinder akan menghambat perpindahan panas

Gambar 3.206. Gangguan pada cincin torak

Susunan poros engkol sesuai jumlah silinder

Motor 1 silinder		$JP = \frac{720}{1} = 720^{o}$ Pe

Motor boxer 2 silinder		$JP = \frac{720}{2} = 360^{o}$ Pe
Motor sebaris 2 silinder		$JP = \frac{720}{2} = 360^{o}$ Pe
Motor sebaris 4 silinder		Urutan Pengapian 1 – 3 – 4 – 2 1 – 2 – 4 – 3 Jarak pengapian : $\frac{720}{4} = 180^{0}$ Pe
Motor boxer 4 silinder		Urutan Pengapian 1 – 4 – 3 – 2 JP : $\frac{720}{2} = 360^{0}$ Pe
Motor sebaris 5 silnder		Urutan Pengapian 1 – 2 – 4 – 5 – 3 JP : $\frac{720}{5} = 144^{0}$ Pe

Motor sebaris 6 silinder		Urutan Pengapian 1 – 5 –3 – 6 – 2 – 4 JP : $\frac{720}{6} = 120^0$ Pe
Motor "V" 8 silinder		Urutan Pengapian 1-8-2-7-4-5-3-6 JP : $\frac{720}{8} = 90^0$ Pe

<table>
<tr><td>Motor
1 silinder</td><td>

1	K	U	B	I

</td><td>JP = $\frac{720}{1}$ = 720º Pe</td></tr>
<tr><td>Motor
boxer
2 silinder</td><td>

1	K	U	B	I
2	B	I	K	U

</td><td>JP = $\frac{720}{2}$ = 360º Pe</td></tr>
<tr><td>Motor
sebaris
2 silinder</td><td>

1	K	U	B	I
2	B	I	K	U

</td><td>JP = $\frac{720}{2}$ = 360º Pe</td></tr>
<tr><td>Motor
sebaris
4 silinder</td><td>

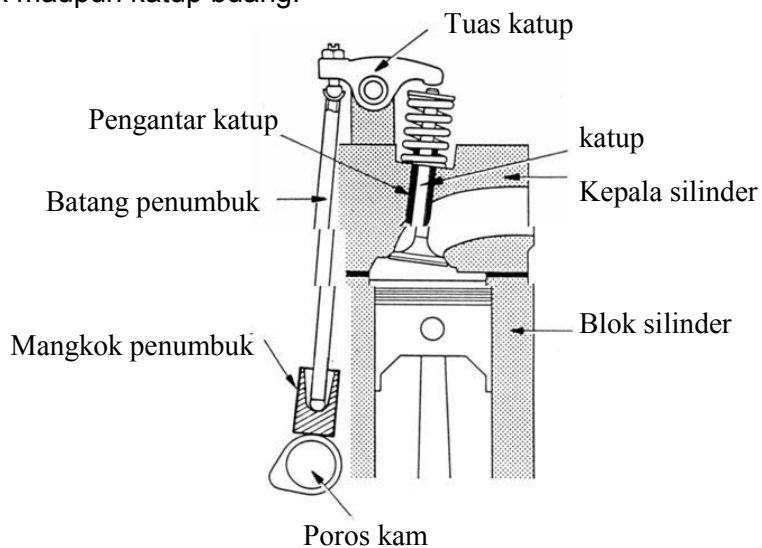
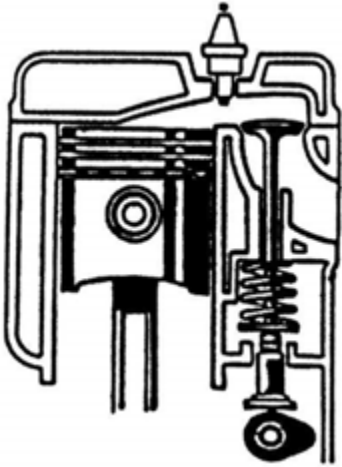
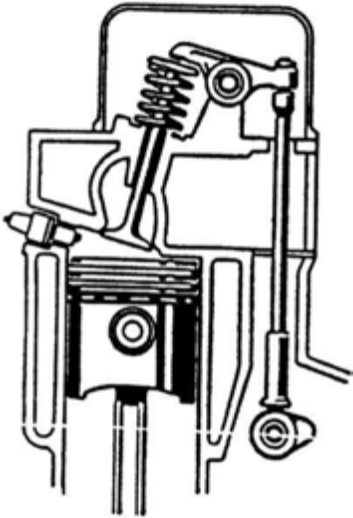
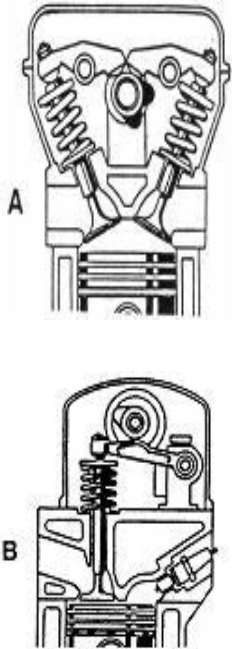
1	K	U	B	I
2	U	B	I	K
3	I	K	U	B
4	B	I	K	U

</td><td>FO : 1 – 3 – 4 – 2
JP = $\frac{720}{4} = 180^0$
Pe</td></tr>
<tr><td>Motor
boxer
4 silinder</td><td>

1	K	U	B	I
2	U	B	I	K
3	B	I	K	U
4	I	K	U	B

</td><td>FO : 1 –4 – 3 – 2
JP = $\frac{720}{4} = 180^0$</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td>Pe</td></tr>
<tr><td>Motor sebaris 5 silinder</td><td><table>
<tr><td>1</td><td>K</td><td>U</td><td>B</td><td>I</td></tr>
<tr><td>2</td><td>I</td><td>K</td><td>U</td><td>B</td><td>I</td></tr>
<tr><td>3</td><td>K</td><td></td><td></td><td></td><td>K</td></tr>
<tr><td>4</td><td></td><td></td><td>K</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td>K</td><td></td></tr>
</table></td><td>FO : 1 – 2 – 4 – 5 – 3
$JP = \frac{720}{5} = 144^0$
Pe</td></tr>
<tr><td>Motor sebaris 6 silinder</td><td><table>
<tr><td>1</td><td>K</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td>K</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td></td><td>K</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td>K</td><td></td><td></td><td></td><td>K</td></tr>
<tr><td>5</td><td></td><td>K</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td></td><td></td><td>K</td><td></td></tr>
</table></td><td>FO = 1-5-3-6-2-4
$JP = \frac{720}{6} = 120^0$
Pe</td></tr>
<tr><td>Motor “V” 8 silinder</td><td><table>
<tr><td>1</td><td>K</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td>K</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td>K</td></tr>
<tr><td>4</td><td></td><td></td><td>K</td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td>K</td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>K</td><td></td><td></td><td></td><td>K</td></tr>
<tr><td>7</td><td></td><td></td><td>K</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td></td><td>K</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table></td><td>FO = 1-8-2-7-4-5-3-6
$JP = \frac{720}{8} = 90^0$ Pe</td></tr>
</table>

Mekanisme Penggerak katup dan Katup.
Mekanisme penggerak katup merupakan rangkaian komponen-komponen yang berfungsi untuk mengatur membuka dan menutup katup masuk maupun katup buang.

Gambar 3.207. Mekanisme Katup

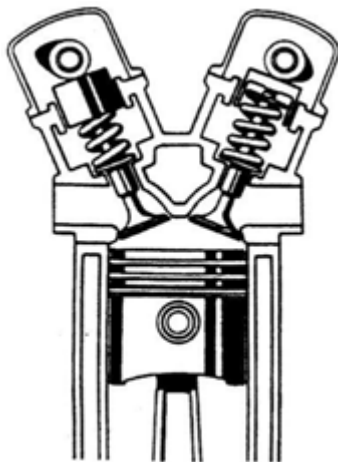
Mekanisme penggerak katup dapat dibedakan jika dilihat dari penempatan poros bubungan *(cam shaft)*, yaitu poros bubungan yang ditempatkan pada blok silinder disebut OHV *(over head valve)*, dan poros bubungan yang ditempatkan dikepala silinder disebut OHC *(over head cam)*.
Mekanisme katup dengan poros kam di bawah.

<table>
<tr>
<td>
Gambar 3.208. Katup di sisi</td>
<td>Katup di samping (Side Valve)
• Katup berdiri
• Poros kam terletak di bawah
• Katup di samping blok motor
Keuntungan
• Tidak berisik
• Konstruksi sederhana
• Tinggi motor menjadi pendek
Kerugian
• Bentuk ruang bakar kurang mengun-tungkan
• Penyetelan celah katup sulit</td>
</tr>
<tr>
<td>
Gambar 3.209. Katup di kepala</td>
<td>Katup di kepala silinder (Over Head Valve)
• Katupnya menggantung
• Poros kam terletak di bawah
• Katupnya di kepala silinder

Keuntungan
• Bentuk ruang bakar baik

Kerugian
Banyak bagian-bagian yang bergerak
Kelembaman massa besar
Tidak ideal untuk putaran tinggi</td>
</tr>
</table>

Mekanisme katup dengan poros bubungan di atas.

 Gambar 3.210. Poros bubungan di kepala	**Satu poros bubungan di kepala *(Over Head Camshaft)*** • Poros bubungan langsung menggerakkan tuas katup (A) atau tuas ayun katup (B) **Keuntungan** • Sedikit bagian-bagian yang bergerak • Kelembaman massa kecil, baik untuk putaran tinggi **Kerugian** • Konstruksi motor menjadi tinggi (ada mekanisme tuas ayun)

<table>
<tr>
<td>
Gambar 3.211. *Double* poros bubungan di kepala</td>
<td>

Dua poros kam di kepala *(Double Over Head Camsaft)*

- Kam langsung menggerakkan mangkok penumbuk.

Keuntungan

- Bentuk ruang bakar baik
- Susunan katup-katup menguntungkan (bentuk V)
- Kelembaman massa paling kecil, dan baik untuk putaran tinggi

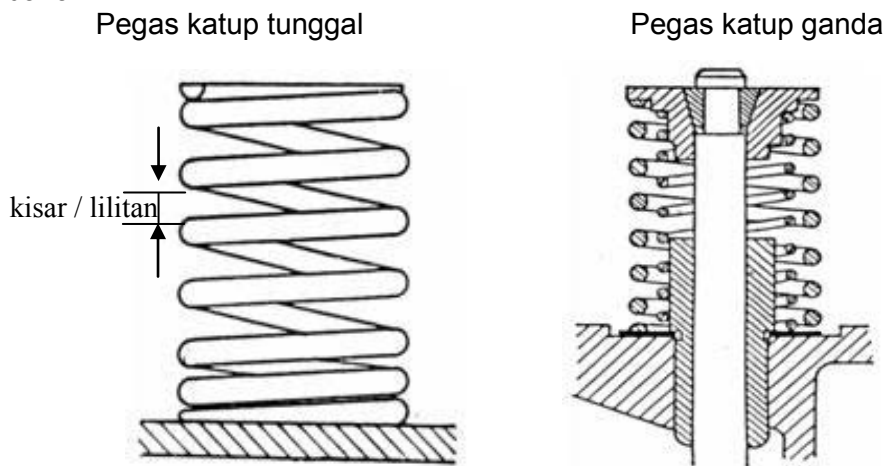
Kerugian

- Konsrtuksi mahal dan lebih berat
- Penyetelan celah katup lebih sulit

</td>
</tr>
</table>

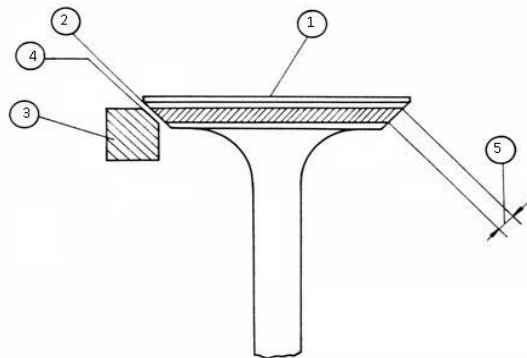
Pegas Katup.
Kegunaannya untuk mengatur agar katup rapat dengan dudukannya, dan sebagai sebagai pegas pengembali.
Konstruksi pegas katup dicetak dengan syarat kuat tahan terhadap panas dan beban yang sangat besar dalam menahan pergerakan bubungan yang membuka katup. Pegas katup ada yang dibuatkan tunggal dan ada juga yang ganda, hal ini adalah dari segi fungsi dan kemudahan.

Pegas katup tunggal

Pegas katup ganda

Gambar 3.212. Pegas tunggal dan ganda

Pegas tunggal dapat meredam getaran, dan kisar lilitan sering tidak sama, hal ini agas pegas dapat berfungsi baik dalam mengembalikan katup menutup kembali.
Pegas ganda juga meredam getaran karena terdapat daun pegas dengan frekuensi getaran diri yang berbeda, dan jika salah satu pegas putus tidak akan menyebabkan katup masuk ke ruang bakar.
Apabila pegas katup lemah, maka katup akan bergetar dan pada putaran tinggi katup tidak akan menutup rapat, melainkan akan seperti melompat-lompat, sehingga daya motor berkurang.
Apabila pegas katup terlalu kuat maka:

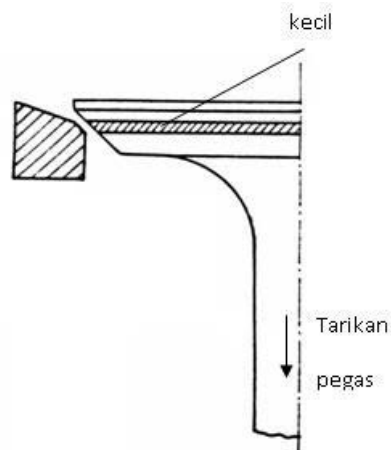
- Keausan pada penggerak katup akan besar karena pembebanan yang berlebihan.
- Tuas-tuas katup bisa patah.

Sil katup berguna untuk mencegah minyak pelumas mengalir ke saluran masuk atau buang, hal ini dapat terlihat dari asap gas buang pada knalpot terlihat putih berbau khas. Hal ini dalam jangka panjang akan menyebabkan deposit arang akibat oli terbakar akan terdapat pada ruang bakar dan mengakibatkan terjadi *self ignation.*
Konstruksi umum
Bentuk Daun Katup dan Cincin Dudukannya

Gambar 3.213. Daun dan cincin dudukan katup

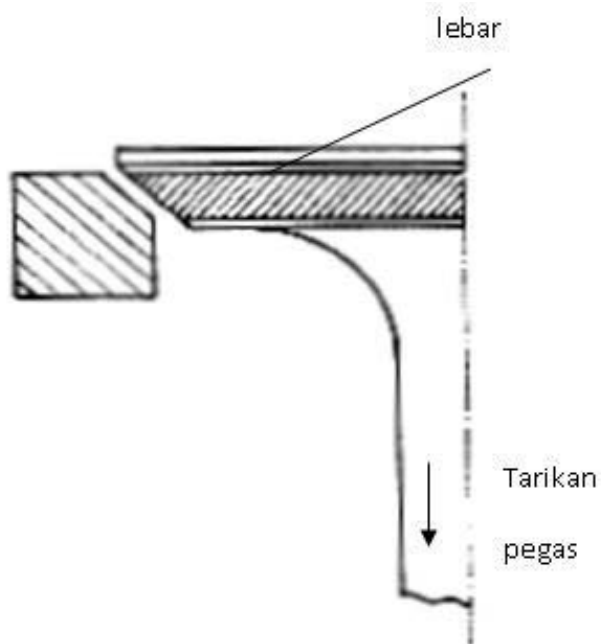
Keterangan Gambar.

1. Daun katup
2. Sudut daun katup: 45^0, ada juga 30^0
3. Cincin dudukan katup
4. Sudut cincin dudukan yang sesuai sudut daun katup
5. Lebar dudukan katup yang secara umum 1–2 mm pada sedan dan 2–3 mm pada truk

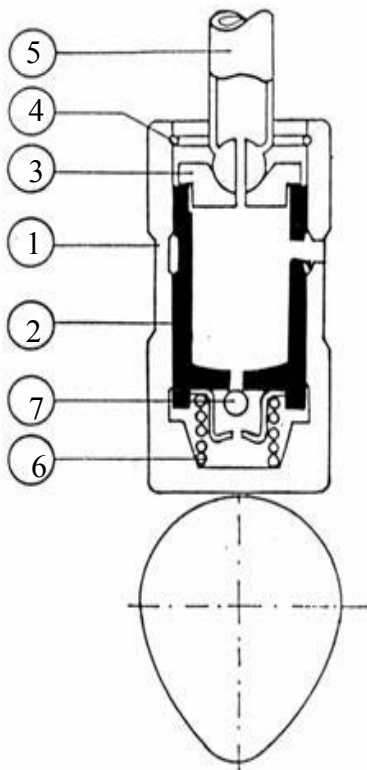
Pengaruh lebar dudukan katup.
Lebar dudukan yang sempit/kecil akan mengakibatkan:

- Kerapatannya baik, karena tekanan pada dudukan besar
- Cepat aus, karena luas permukaan kecil
- Pemindah panas jelek, karena luas permukaan kecil

Gambar 3.214.Dudukan katup yang sempit

Lebar dudukan katup yang besar akan mengakibatkan:

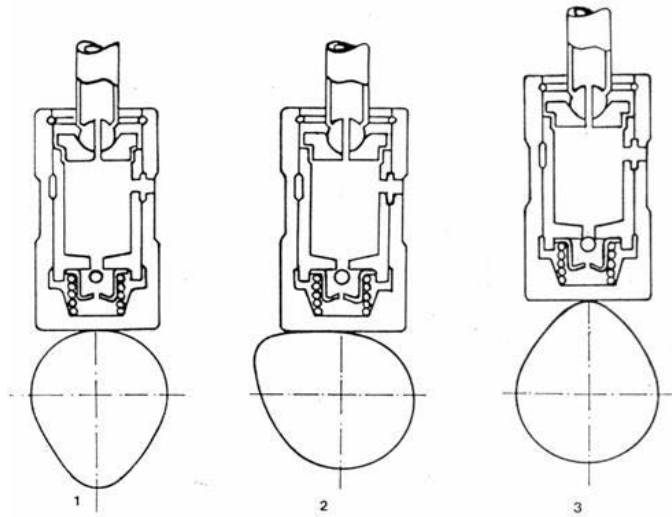
- Kerapatannya kurang baik
- Keausan kecil
- Pemindah panas baik

Gambar 3.215. 1.75.Dudukan katup yang lebar

Penyetel Celah Katup Automatis
Contoh: Penumbuk hidrolis pada motor OHV
Fungsi: Mengatur celah katup sehingga tetap sesuai, celah katup tidak berubah akibat keausan pada bagian penggerak.

Gambar 3.216.*Lifter* hidrolik

Bagian-bagiannya

1. Badan penumbuk
2. Plunyer (torak)
3. Dudukan batang penumbuk
4. Cincin pengunci
5. Batang penekan
6. Pegas plunyer pada ruang tekan
7. Katup peluru

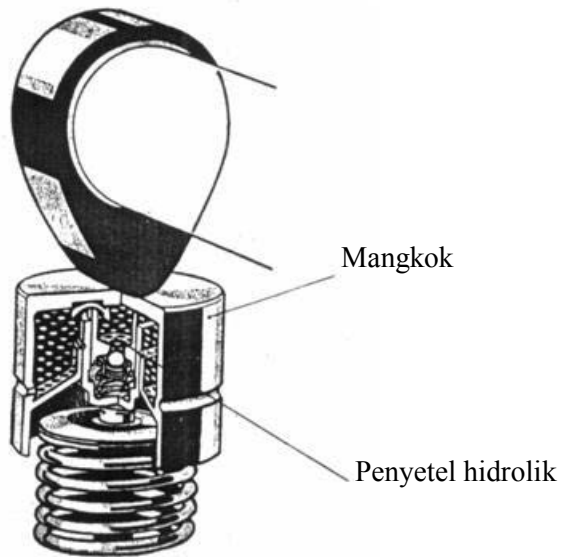
Keuntungan	Kerugian
• Celah katup kostan • Tidak berisik	• Lebih berat dari pada penumbuk biasa, kelembaman massa bertambah kemampuan motor berkurang

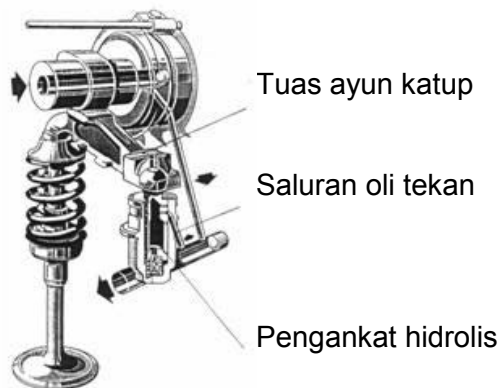
Prinsip kerja penekan hidrolis
Panjang penumbuk hidrolis diatur oleh tekanan oli motor, sehingga celah katup mendekati nol

Gambar 3.217. Kerja *lifter* hidrolik

Gambar 1. Selama penumbuk tidak tertekan, oli mengalir melalui lubang badan penumbuk ke bagian dalam *plunyer*. Tekanan oli tersebut menekan katup peluru dan mengalir ke ruang tekan sehingga celah katup mendekati nol.

Gambar 2 & 3. Selama penumbuk tertekan, maka plunyer menerima gaya reaksi dari batang penekan. Akibatnya tekanan oli pada ruang tekan melebihi tekanan oli motor dan katup peluru menutup. Dengan demikian posisi *plunyer* dalam badan penekan tidak dapat bergerak lagi dan katup akan di buka seperti pada penekan biasa.

Konstruksi penyetel celah katup automatis pada motor OHC dan DOHC

Pada penumbuk mangkok, cara kerja seperti di jelaskan pada penumbuk hidrolik untuk motor OHV, dan kerugian adalah mangkok lebih berat dari pada yang mekanis, sehingga kelembaman massa bertambah kemampuan putar motor berkurang.

Gambar 3.218. Model mangkok

Pengangkat hidraulis *(lifter)* pada ujung mati tuas ayun katup, hal ini memiliki Keuntungan, massa pengangkat tidak bergerak, dan tidak terjadi tambahan kelembaman massa pada penggerak katup.

Gambar 3.219. Model tuas ayun

Penyebab Ketidakseimbangan dan Getaran Mesin.

Keseimbangan mesin menjadi perhatian banyak orang. Sebab ketidak seimbangan bagian-bagian mesin bisa menghasilkan vibrasi dan gangguan bunyi yang bisa didengar dan dirasakan ketika orang menggunakan kendaraan. Keseimbangan mesin merupakan hal penting dalam kelangsungan hidup mesin.

Sebelum mesin dipasang pada kendaraan, pertimbangan-pertimbangan pada tahap desain, pengembangan, produksi atau pengaturan ulang yang matang mutlak dilakukan, sebab tidak ada yang dapat dilakukan lagi oleh pabrik setelah mesin terpasang.

Sebuah faktor penting dalam tahap pengaturan ulang adalah mempertimbangkan agar mesin seseimbang mungkin. Torak dan batang penghubung harus benar-benar seimbang dan komponen-komponen yang berputar harus seimbang untuk mencegah terjadinya getaran/vibrasi dan resonansi.

Interaksi berbagai gaya yang ada pada mesin menyebabkan vibrasi. Pengaturan keseimbangan, baik secara statis *(stasioner)* maupun dinamis *(rotaris)* merupakan cara mengatasi ketidakseimbangan yang pada akhirnya akan menimbulkan vibrasi.

Informasi berikut akan membantu Anda untuk mepelajari sebab-sebab terjadinya ketidakseimbangan mesin dan berbagai metode untuk mengatasi atau menurunkan efek ketidakseimbangan mesin tersebut.

Kelembaman

Sebuah mesin piston konvensional tidak bisa seimbang sepenuhnya. Terlepas dari semuanya itu, pada mesin tersebut terdapat momen puntir yang tidak beraturan yang bergerak secara bolak-balik.

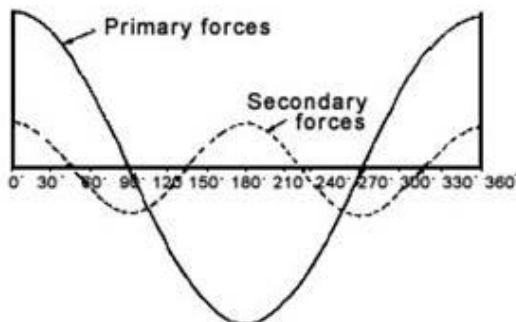
Gaya Kelembaman Primer

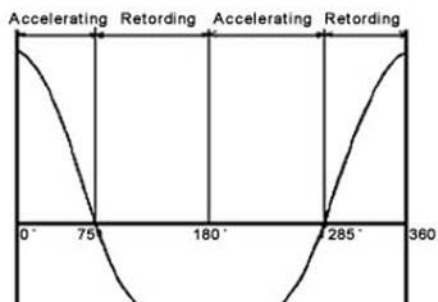
Gaya tersebut memang harus ada untuk melakukan akselerasi pada piston di tengah putaran pertama langkahnya. Gaya serupa ditimbulkan oleh piston ketika menurunkan akselerasi pada pertengahan putaran langkah keduanya. Ketika langkah piston berada di pertengahan, kecepatannya akan sama dengan kecepatan pen engkol, sehingga gaya kelembaman primer tidak akan muncul. Apabila gaya kelembaman primer pada sebuah silender secara langsung arahnya berlawanan dengan yang ada pada silinder lainnya, mislanya pada mesin empat silinder yang segaris, maka mesin tersebut berada dalam keadaan ”keseimbangan primer”.

Gaya Kelembaman Sekunder

Hal ini terjadi akibat adanya perubahan gaya yang besar yang terjadi antara batang penghubung dan sumbu silinder pada setiap langkah. Perubahan tersebut mengakibatkan piston bergerak makin cepat dari bagian top dead centre/atas untuk segera turun ke bagian bottom dead centre/bawah.

Misalnya:

Sebuah batang penghubung yang pusatnya 3,5 kali lebih besar daripada pusat mangkokan poros engkol, yang akselerasi rotasinya sebesar 75 derajat, dan retardasinya sampai sebesar 105 derajat. Gambar 1.80. menunjukan masing-masing gaya kelembaman primer dan sekunder, sedangkan gambar 1.81 menunjukan kombinasi kedua gaya yang merupakan total gaya kelembaman yang berasal dari penjumlahan gaya kelembaman primer dan sekunder.

Gambar 3.220.Gaya kelembaman *primer* dan *skunder*

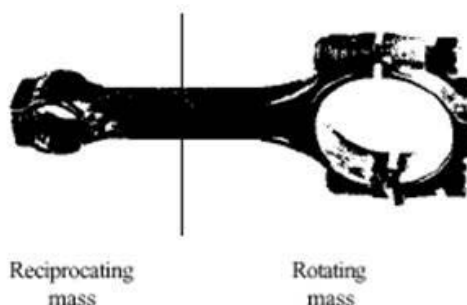
Kedua kurva merupakan gaya kelembaman primer dan sekunder yang diperlukan untuk menggerakan piston pada saat sebuah poros berotasi

Gambar 3.221.Kombinasi kelembaman *primer* dan *sekunder*

Vibrasi atau ketidak seimbangan terjadi sebagai akibat perbedaan dalam gaya kelembaman selama satu revolusi sebuah poros engkol, sekalipun kondisi komponen-komponen yang bekerja secara bolak-balik dalam keadaan yang betul-betul seimbang.

Akumulasi Gaya

Bolak-Balik

Vibrasi *internal* dalam sebuah mesin ditimbulkan oleh rotasi dan akumulasi gaya bolak-balik yang tidak seimbang. Komponen-komponen yang bekerja secara bolak-balik menghasilkan akumulasi

gaya tersebut dimana piston dan ujung kecil bagian atas batang penghubung berada di sekitarnya. Aturan umumnya, sepertiga massa batang tersebut diperuntukkan untuk menangani komponen-komponen yang bekerja secara bolak-balik, dan duapertiga lainnya yang dipasang pada pen engkol diperlukan untuk menangani rotasi, sebagaimana yang ada dalam Gambar 3.222.

Gambar 3.222. Massa batang torak

Sebagaimana yang telah dijelaskan, gaya kelembaman primer dan gaya kelembaman sekunder mengakibatkan efek pada seluruh mesin dalam hal keseimbangannya. Perubahan akumulasi gaya bolak-balik antara kedua silinder akan meningkatkan ketidak seimbangan. Pengaturan dan pemasangan secara seksama pada komponen-komponen yang bekerja secara bolak-balik akan meningkatkan kelancaran dan keseimbangan operasional mesin.

d. **Evaluasi Materi Pokok**

1. Jelaskan cara mengukur end ply poros engkol.
   Jawaban:
   ____
   ____
   ____
2. Jelaskan apa yang dimaksud margin katup dan bagaimana mengukurnya.
   Jawaban:
   ____
   ____
3. Jelaskan tiga pengukuran yang dilakukan pada pegas katup.
   Jawaban:
   a. ____________________________
   b. ____________________________
   c. ____________________________
4. Jelaskan tiga pengukuran yang dilakukan pada poros bubungan.
   Jawaban:
   a. ______________________
   b. ______________________
   c. ______________________
5. Jelaskan mengapa rocker arms tidak boleh saling tertukar
   Jawaban:
   ____
   ____
6. Jika sebuah pembuat engine mengatakan ukuran tabung silinder 4 inci, apakah ini benar?
   Jawaban:
   ____

Pertanyaan 9
Apa yang terjadi apabila tegangan pegas katup di bawah spesifikasi ?
Jawaban

____

____

Pertanyaan 10
Apa tujuan dari penghantar katup ?
Jawaban

____

Pertanyaan 11
Celah antara batang katup terhadap penghantarnya terlalu kecil menyebabkan.
Jawaban

Pertanyaan 12

Apabila memeriksa kepala silinder jenis OHC, selain gangguan yang terjadi pada permukaan kepala silinder, hal apa lagi yang penting di periksa ?

Jawaban

Pertanyaan 13

Mengapa permukaan kepala silinder memerlukan penggerindaan ?

Jawaban

Pertanyaan 14

Tindakan pencegahan apa yang dilakukan setelah permukaan kepala silinder di gerinda ?

Jawaban

Pertanyaan 15

Tuliskan 4 metoda yang paling baik digunakan untuk menguji keretakan pada kepala silinder.

Jawaban

(i) ____________________

(ii) ____________________

(iii) ____________________

(iv) ____________________

Pertanyaan 16

Metoda apa yang paling tepat untuk memeriksa keretakan pada kepala silinder yang terbuat dari Aluminium.

Jawaban

Pertanyaan 17

Apa penyebab utama terjadinya keretakan pada kepala silinder ?

Jawaban

Pertanyaan 18

Dapatkah keretakan didiagnosa pada saat engine hidup ? Jika ya, bagaimana?

Jawaban

____
____
____
____

Pertanyaan 19

Apa tujuan dari katup

Jawaban

____
____
____
____

Pertanyaan 20

Apakah material/bahan katup masuk dan katup masuk dan katup buang sama?

Jawaban

____
____

BAB III
PENUTUP

KUNCI JAWABAN

7. Jelaskan cara mengukur end ply poros engkol.
   Jawaban:
   Menempatkan poros engkol pada dua buah stand khusus diatas meja perata, kemudian mengeset DTI pada journal bagian tengah, kemudian diputar satu putaran hasilnya dibagi dua
8. Jelaskan apa yang dimaksud margin katup dan bagaimana mengukurnya.
   Jawaban:
   Margin katup adalah tebal katup yaitu batas face katup dengan head katup
9. Jelaskan tiga pengukuran yang dilakukan pada pegas katup.
   Jawaban:
   d. Panjang bebas
   e. Tekanan terpasang
   f. Kesikuan
10. Jelaskan tiga pengukuran yang dilakukan pada poros bubungan.
   Jawaban:
   d. Kebengkokan
   e. Keausan jurnal
   f. Tinggi angkat katup
11. Jelaskan mengapa rocker arms tidak boleh saling tertukar
   Jawaban:
   Karena tingkat keausan pada tip rocker arms tidak sama sehingga saat menyetel katup akan sulit didapatkan celah yang standar.
12. Jika sebuah pembuat engine mengatakan ukuran tabung silinder 4000
   inci, apakah ini benar?
   Jawaban:
   Salah

Pertanyaan 9
Apa yang terjadi apabila tegangan pegas katup di bawah spesifikasi ?
Jawaban
Hal ini menyebabkan katup akan terlambat menutup dan kerja katup kurang stabil.

Pertanyaan 10
Apa tujuan dari penghantar katup ?
Jawaban
Untuk memposisikan katup konsentris dengan dudukan katup

Pertanyaan 11
Celah antara batang katup terhadap penghantarnya terlalu kecil menyebabkan.
Jawaban
(i) Pelumasan tidak cukup

(ii) Batang katup di dalam penghantarnya terlalu tercekam
Pertanyaan 12
Apabila memeriksa kepala silinder jenis OHC, selain gangguan yang terjadi pada permukaan kepala silinder, hal apa lagi yang penting di periksa ?

Jawaban
Posisi dudukan poros bubungan harus diperiksa kelurusannya ? (kebalingan).
Pertanyaan 13
Mengapa permukaan kepala silinder memerlukan penggerindaan ?
Jawaban
Untuk menyakinkan kerataan kepala silinder duduk pada blok engine.

Pertanyaan 14
Tindakan pencegahan apa yang dilakukan setelah permukaan kepala silinder di gerinda ?

Jawaban
Menghilangkan sisi yang tajam sekitar ruang bakar, untuk menghindari patah dan menyebabkan kerusakan.
Pertanyaan 15
Tuliskan 4 metoda yang paling baik digunakan untuk menguji keretakan pada kepala silinder.

Jawaban
(i) Ultra Violet

(ii) Serbuk magnit atau semprotan (Spray)

(iii) Die

(iv) Menguji dengan tekanan
Pertanyaan 16
Metoda apa yang paling tepat untuk memeriksa keretakan pada kepala silinder yang terbuat dari Aluminium.
Jawaban
Pengujian dengan Dye, karena kepala silinder aliminium adalah non-magnit
Pertanyaan 17
Apa penyebab utama terjadinya keretakan pada kepala silinder ?

Jawaban
Panas yang berlebihan (overheating)

Pertanyaan 18

Dapatkah keretakan didiagnosa pada saat engine hidup ? Jika ya, bagaimana?

Jawaban

Ya, keretakan dapat di diagnosa saat engine hidup yaitu adanya gelembung udara pada radiator, atau dengan tekanan pada sistem pendinginan dan melihat kebocoran internal ataupun external.

Pertanyaan 19

Apa tujuan dari katup

Jawaban

Untuk pengaliran campuran atau udara murni masuk kedalam silinder selama langkah isap dan mengalirkan gas bekas keluar dari dalam silinder.

Pertanyaan 20

Apakah material/bahan katup masuk dan katup masuk dan katup buang sama?

Jawaban

Tidak, seperti diketahui temperatur operational katup buang adalah tinggi oleh karena itu baja dengan kwalitas tinggi menjadi utama di dalam materialnya.

DAFTAR PUSTAKA

Martin W. Stockel, *auto mechanics fundamentals,* South Holland, Illinois: Published by THE GOODHEART-WILLCOX COMPANY,INC

Ed May, *Automotive Mechanics,* Sixth Edition Reprinted 2001, McGraw-Hill Book Company Australia Pty Ltd

Pedoman Reparasi Engine Izuzu PT.Toyota Astra Motor

Pedoman Reparasi Engine Mitsubisi PT.Krama Yudha Tiga Berlian